

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ESCALABILIDAD
DE UNA RED NACIONAL DWDM PARA QUE OPERE A 128 LAMBDA**

DAVID PATRICIO CANDO GARZÓN

Trabajo previo a la obtención del título de:

Magister en Redes de Comunicación

QUITO, MAYO 2015

INDICE GENERAL

JUSTIFICACIÓN	XI
ANTECEDENTES	XI
OBJETIVO GENERAL	XIII
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XIII
ALCANCE	XIV
CAPÍTULO 1	1
1.1 FIBRA ÓPTICA	1
1.2 Características de la luz	1
1.2.1 Física de la luz	2
1.2.1.1 Concepto cuántico de la luz	3
1.2.2 Espectro electromagnético	4
1.2.3 Propagación de la luz	7
1.2.4 Reflexión total interna	7
1.2.5 Índice de refracción	9
1.2.6 Apertura numérica	11
1.2.7 Estructura de la fibra óptica	12
1.2.8 Tipos de fibra óptica	14
1.2.8.1 Multimodo	14
1.2.8.1.1 Índice escalonado	15
1.2.8.1.2 Índice gradual	16
1.2.8.2 Monomodo	17
1.2.9 Dispersión	18
1.2.9.1 Dispersión modal	19
1.2.9.2 Dispersión cromática	19
1.2.9.3 Dispersión de modo polarizado	21
1.2.10 Estándares de fibra óptica	22
1.2.11 Transmisores ópticos	25

1.2.11.1	LED (Diodo Emisor de Luz)	25
1.2.11.2	Láser	28
1.2.12	Receptores ópticos	31
1.2.12.1	PIN (Positiva Intrínseca Negativa)	32
1.2.12.2	APD (Fotodiodo de Avalancha)	34
1.2.13	Componentes pasivos	35
1.2.13.1	Conectores	36
1.2.13.2	Empalmes	38
1.2.13.2.1	Empalmes de fusión directa	39
1.2.13.2.2	Empalmes mecánicos y adhesivos	40
1.2.13.3	Acopladores	42
1.3	REDES DE TRANSPORTE	43
1.3.1	Desarrollo de la tecnología	44
1.3.2	CWDM	44
1.3.3	DWDM	46
1.3.4	Características de las redes DWDM	47
1.3.4.1	Parámetros de la transmisión en sistemas DWDM	48
1.3.4.1.1	Espaciamiento entre canales	48
1.3.4.1.2	Dirección de la señal	49
1.3.4.1.3	Ancho de banda	49
1.3.4.1.4	Potencia	50
1.3.4.1.5	BER	50
1.3.4.2	Ruido	51
1.3.4.3	Cálculo de nivel de potencia	51
1.3.4.4	Diseño a nivel de ancho de banda	53
1.3.4.5	Diseño a nivel de ruido	55
1.4	TECNOLOGÍAS PDH, SDH, SONET	55
1.4.1	PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona)	56

1.4.2	SDH (Jerarquía Digital Síncrona)-----	58
1.4.3	SONET (Red Óptica Síncrona)-----	65
1.4.4	Comparaciones entre tecnologías-----	69
CAPÍTULO 2-----		70
2.1	SOFTWARE DE SIMULACIÓN-----	70
2.1.1	OptSim -----	70
2.1.2	OptiSystem -----	72
2.1.3	Elección de software de simulación -----	73
2.1.4	Introducción al software de simulación -----	74
2.1.4.1	Interfaz gráfica -----	75
2.2	ETAPA DE TRANSMISIÓN-----	82
2.3	MULTIPLEXACIÓN Y DEMULTIPLEXACIÓN DE SEÑALES -----	85
2.3.1	Multiplexor -----	85
2.3.2	Demultiplexor -----	86
2.4	FIBRA ÓPTICA, AMPLIFICADORES Y COMPENSADORES -----	88
2.4.1	Fibra óptica-----	89
2.4.2	Amplificadores-----	91
2.4.3	Compensadores de dispersión -----	93
2.5	ETAPA DE RECEPCIÓN-----	96
2.6	CONFORMACIÓN DE ELEMENTOS DE RED -----	99
2.7	MONITOREO Y MEDICIÓN-----	103
2.8	CONFORMACIÓN DE RED DWDM -----	116
2.9	ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED SIMULADA -----	121
CAPÍTULO 3-----		126
3.1	SIMULACIÓN DE ELEMENTOS DE RED MANEJANDO 128 LAMBDA. -----	126
3.2	ANÁLISIS DE NIVELES DE POTENCIA DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN ----	127
3.3	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN -----	129
3.4	ANÁLISIS DE ESPECTRO DE FRECUENCIA Y TASA DE BIT ERRADO (BER). 133	

3.5 ANÁLISIS CORRECTIVOS SOBRE PARÁMETROS GENERALES DE LA RED.139	
3.6 ANÁLISIS DE ESCALABILIDAD DE LA RED.-----	140
3.7 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD CON EQUIPAMIENTO DISPONIBLE EN EL MERCADO. -----	141
CAPÍTULO 4-----	144
4.1 CONCLUSIONES -----	144
4.2 RECOMENDACIONES -----	145
ANEXOS-----	147
ANEXOS 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA RED DWDM NACIONAL -----	148
ANEXOS 2 DIAGRAMAS DE RED DWDM OPTISYSTEM-----	151
ANEXOS 3 GRID DWDM-----	154
ANEXOS 5 NEC SPECTRALWAVE-----	161
ANEXOS 6 HUAWEI OPTIX BWS 1600A -----	164
-----	167
BIBLIOGRAFÍA-----	168

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Trayectoria de onda electromagnética. -----	2
FIGURA 1.2: Liberación de un Fotón. -----	3
FIGURA 1.3: Espectro Electromagnético de la Luz. -----	4
FIGURA 1.5: Reflexión de haz de luz dentro del núcleo. -----	8
FIGURA 1.6: Efectos de reflexión y refracción sobre materiales con diferente índice de refracción. -----	8
FIGURA 1.7: Índice de Refracción. (a) Reflexión y refracción. (b) Reflexión. ----	10
FIGURA 1.8: Ángulo de aceptación y efectos de refracción y reflexión. -----	11
FIGURA 1.9: Estructura de la Fibra Óptica (a) Vista transversal. (b) Vista por capas. -----	12
FIGURA 1.10: Diámetros de fibras multimodo y monomodo. -----	14
FIGURA 1.11: Fibra multimodo de índice escalonado. -----	16
FIGURA 1.12: Fibra Multimodo de índice gradual. -----	17
FIGURA 1.13: Fibra monomodo de índice escalonado. -----	18
FIGURA 1.14: Dispersión modal. -----	19
FIGURA 1.15: Dispersión cromática. -----	20
FIGURA 1.16: Dispersión de Modo Polarizado (PMD) -----	21
FIGURA 1.17: Emisión de luz (a) Corriente incidente. (b) Electrón-Hueco. (c) Fotón Liberado. -----	26
FIGURA 1.18: Cavity Fabri-Perot (a) Estructura (b) Regiones. -----	29
FIGURA 1.19: Cavity Fabri-Perot (a) Inyección de Fotones, (b) Pérdidas. ----	29
FIGURA 1.20: Rango Espectral Libre. -----	30
FIGURA 1.21: Estructura de Fotodiodo PIN. -----	33
FIGURA 1.22: Estructura de Fotodiodo APD. -----	34
FIGURA 1.23: Conectores de Fibra Óptica (a) Conector SMA. (b) Conector ST (c) Conector FC. (d) Conector SC. (e) Conector LC. -----	38
FIGURA 1.24: Empalme de Fusión (a) inserción de fibras. (b) Alineación de fibras. (c) Arco de fusión. (d) Revisión y estimación. (e) Medición de pérdidas y finalización. -----	40
FIGURA 1.25: Estructura de un empalme mecánico. -----	41
FIGURA 1.26: Partes del empalme óptico adhesivo. -----	41
FIGURA 1.27: Partes de un divisor óptico. -----	42

FIGURA 1.28: Partes de un combinador óptico.	43
FIGURA 1.29: Longitudes de Onda para CWDM de acuerdo a la recomendación G.694.2.	45
FIGURA 1.30: Red DWDM punto a punto.	47
FIGURA 1.31: Jerarquías de Multiplexación Plesiórona.	58
FIGURA 1.32: Estructura de la Trama STM-1.	61
FIGURA 1.33: Punteros de la Trama STM-1.	61
FIGURA 1.34: Bytes de Cabecera RSOH.	62
FIGURA 1.35: Bytes de Cabecera MSOH.	63
FIGURA 1.36: Mapeo de la Trama STM-1.	64
FIGURA 1.37: Estructura de la Trama STS-1.	67
FIGURA 1.38: Bytes de la TOH y POH.	68
FIGURA 2.1: Entorno gráfico del Software de Simulación OPTSIM.	72
FIGURA 2.2: Entorno gráfico del Software de Simulación OPTISYSTEM.	73
FIGURA 2.3: Interfaz gráfica de OptiSystem.	75
FIGURA 2.4: Creación de nuevo proyecto mediante el uso del menú de opciones.	77
FIGURA 2.5: Creación de nuevo proyecto utilizando el botón "New".	77
FIGURA 2.6: Agrupación de elementos por carpetas en OptiSystem.	78
FIGURA 2.7: Elementos que serán utilizados para la simulación en OPTISYSTEM	79
FIGURA 2.8: Ventana de configuración de elementos en OptiSystem.	80
FIGURA 2.9: Opciones y botones para inicio de la simulación.	81
FIGURA 2.10: Ventana de ejecución de simulación.	81
FIGURA 2.11: Generador de Secuencia de bits y Generador de Pulso.	83
FIGURA 2.12: Diodo Láser Transmisor.	83
FIGURA 2.13: Ventana de configuración del diodo laser.	84
FIGURA 2.14: Conformación del transmisor.	84
FIGURA 2.15: Tipos de Multiplexores en OptiSystem.	85
FIGURA 2.16: Integración de la etapa de transmisión y el multiplexor.	86
FIGURA 2.17: Tipos de Demultiplexores en OptiSystem.	87
FIGURA 2.18: Crossconexiones entre Demux y Mux, y recepción de lambdas.	87
FIGURA 2.19: Tipos de Fibra Óptica Monomodo.	89
FIGURA 2.20: Tipos de Fibra Óptica Multimodo.	89

FIGURA 2.21: Parámetros de configuración de fibra óptica.	90
FIGURA 2.22: Parámetros de configuración de fibra óptica, Dispersión	90
FIGURA 2.23: Parámetros de configuración de fibra óptica, PMD	91
FIGURA 2.24: Tipos de Amplificador, disponibles en el simulador.	92
FIGURA 2.25: Parámetros de Amplificador de Ganancia EDFA.	93
FIGURA 2.26: Tipos de Compensadores de Dispersión, disponibles en el simulador.	94
FIGURA 2.27: Parámetros de Compensador de Dispersión Cromática.	96
FIGURA 2.28: Parámetros de Filtro óptico gaussiano.	97
FIGURA 2.29: Parámetros de Fotodetector (Fotodiodo) APD.	97
FIGURA 2.30: Diagrama de la Etapa de Recepción.	98
FIGURA 2.31: Pantalla de Gestor TNMS para multiplexores ópticos.	99
FIGURA 2.32: Pantalla de Gestor TNMS para multiplexores ópticos.	100
FIGURA 2.33: Pantalla de Gestor TNMS para multiplexores ópticos.	101
FIGURA 2.34: Network Element en la Red.	102
FIGURA 2.35: Instrumentos de medida que posee el simulador.	104
FIGURA 2.36: Forma de Onda a la salida del Generador de Pulso.	104
FIGURA 2.37: (a) Frecuencia de Operación. (b) Potencia de transmisión.	105
FIGURA 2.38: (a) Nivel de Potencia antes del Modulador. (b) Nivel de Potencia después del Modulador.	106
FIGURA 2.39: (a) Espectro de Frecuencia Limpia. (b) Espectro de Frecuencia Atenuada.	106
FIGURA 2.40: (a) Señal de Datos Eléctrica. (b) Señal de Datos Óptica.	107
FIGURA 2.41: Niveles de Potencia de las lambdas a la salida del multiplexor.	108
FIGURA 2.42: Niveles de potencia máximos y mínimos a la salida del multiplexor.	109
FIGURA 2.43: Niveles de potencia a la salida del multiplexor.	110
FIGURA 2.44: Espectro de frecuencia a la salida del multiplexor.	109
FIGURA 2.45: Niveles de Potencia de las lambdas a la salida de la fibra óptica.	111
FIGURA 2.46: Niveles de potencia a la salida de la fibra óptica.	111
FIGURA 2.47: Espectro de frecuencia a la salida de la fibra óptica, sin amplificación.	112

FIGURA 2.48: (a) Espectro de Frecuencia antes de ingresar al Amplificador. (b) Espectro de Frecuencia después de ingresar al Amplificador -----	113
FIGURA 2.49: Niveles de Potencia de cada λ , ingresando al demultiplexor. -----	114
FIGURA 2.50: Nivel de Potencia de Recepción, en el demultiplexor. -----	115
FIGURA 2.51: Espectro Óptico de Longitudes de Onda, ingresando al Demultiplexor -----	114
FIGURA 2.52: Niveles de Tasa de Error (BER) y Diagrama del Ojo. -----	115
FIGURA 2.53: Estaciones de la Red DWDM Nacional. -----	118
FIGURA 3.1: Nivel de potencia de transmisión. (a) Simulación 40 λ s. (b) Simulación 128 λ s. -----	129
FIGURA 3.2: Nivel de potencia de recepción. (a) Simulación 40 λ s. (b) Simulación 128 λ s. -----	129
FIGURA 3.3: Espectro de frecuencia a la salida del multiplexor. (a) Simulación 40 λ s. (b) Simulación 128 λ s. -----	133
FIGURA 3.4: Espectro de frecuencia a la entrada del demultiplexor. (a) Simulación 40 λ s. (b) Simulación 128 λ s. -----	134
FIGURA 3.5: Espectro de frecuencia, espaciamiento de longitudes de onda. (a) Simulación 40 λ s. (b) Simulación 128 λ s. -----	135
FIGURA 3.6: Curva de factor de calidad. (a) Canal 1 Santo Domingo. (b) Canal 2 Quevedo. (c) Canal 3 Babahoyo. Diagrama del ojo y tasa de bits errados BER. (d) Canal 1 Santo Domingo. (e) Canal 2 Quevedo. (f) Canal 3 Babahoyo -----	136
FIGURA 3.7: Curva de factor de calidad en el Core Guayaquil. (a) Canal 1 Santo Domingo. (b) Canal 5 Quevedo. (c) Canal 7 Babahoyo. Diagrama del ojo y tasa de bits errados BER. (d) Canal 1 Santo Domingo. (e) Canal 5 Quevedo. (f) Canal 7 Babahoyo -----	137
FIGURA 3.8: (a) Curva de factor de calidad del Canal 13 entre Quito y Guayaquil. (b) Diagrama del ojo y tasa de bits errados BER del Canal 13 entre Quito y Guayaquil -----	138

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: Tipos de onda electromagnética, longitudes de onda y frecuencias.-5	
TABLA 1.2: Bandas de Operación.-----6	
TABLA 1.3: Comparación de las fibras monomodo de acuerdo a la ITU-T.----- 25	
TABLA 1.4: Niveles de BER para diferentes velocidades de transmisión.----- 51	
TABLA 1.5: Características de la interfaz eléctrica de los niveles de multiplexación PDH.----- 58	
TABLA 1.6: Elementos de la trama SDH.----- 59	
TABLA 1.7: Velocidades superiores al STM-1.----- 65	
TABLA 1.8: Velocidades de Señales en SONET.----- 66	
TABLA 2.1.- Tabla comparativa entre Optsim y OptiSystem.----- 74	
TABLA 2.2.- Tabla de requerimientos mínimos de hardware para OptiSystem. 74	
TABLA 2.3.- Descripción de Enlaces Ópticos.-----117	
TABLA 2.4: Valores de Dispersión Cromática en los tramos de mayor longitud.-----117	
TABLA 2.5.- Descripción de Servicios de la Red DWDM-----120	
TABLA 3.1.- Tabla comparativa de niveles de potencia de una enlace óptico para 40 y 128 longitudes de onda.-----128	
TABLA 3.2.- Valores de dispersión cromática calculados para los compensadores utilizados en la simulación a 128 longitudes de onda.-----132	

JUSTIFICACIÓN

Las operadoras móviles y las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones en el Ecuador, están implementando redes DWDM con 40 lambdas operativas, esto con el fin de mejorar e incrementar sus servicios de comunicaciones, así también para el caso de las operadoras, proveer de servicios de telefonía móvil 4G, la misma que requiere como capacidad mínima por nodo 20 Mbps, al multiplicarlas por 2000 celdas promedio.

El trabajo de tesis sustenta la capacidad de escalabilidad, de las redes DWDM que funcionan a 40 longitudes de onda, para que operen a 128 longitudes de onda, en un entorno simulado, con una recomendación general de los equipos DWDM que manejan esta capacidad, disponibles en el mercado.

ANTECEDENTES

Las redes de telecomunicaciones se extienden a través de todo el planeta y Ecuador no es la excepción, sin embargo su desarrollo ha sido muy lento con respecto a la región y al contexto mundial. La extinta IETEL manejaba la comunicación telefónica y sus radioenlaces de forma analógica, posteriormente Pacifictel y Andinatel se modernizaron y acogieron la comunicación digital.

En los años 90 aparecen las operadoras móviles Porta (Claro) y Celular Power (Movistar), quienes implementaron una red de transporte PDH con capacidad suficiente para proveer de servicios a las principales ciudades del país. En aquella época, la idea de montar una red de fibra óptica era muy lejana y sumamente costosa, los servicios eran transportados por microondas. A inicios de nuevo milenio se comienza a implementar la nueva Red de transporte SDH, de

igual manera con microonda con un máximo de 3 x STM-1, no obstante ya se comienza la planeación de tener una red de fibra óptica, la misma que en el 2003 Andinatel y Pacifictel con equipamiento Siemens realizan la primera red nacional de fibra óptica, provista de 4 x STM-16, una capacidad fantástica para ese tiempo.

La operadoras móviles no se quedaron atrás e implementaron sus propias redes de fibra óptica, aparece nuevo equipamiento Siemens que maneja hasta 2 STM-64, aumenta la capacidad y de igual manera aumenta la demanda con la llegada de la tecnología móvil 3G. Para los tendidos de fibra óptica, se utilizó dos métodos, el aéreo y enterrado, así también se manufacturó fibra con características de protección anti roedores, doble revestimiento y gel refrigerante, se usó la fibra bajo el estándar ITU G652.

La evolución del equipamiento hace que se pueda optimizar de mejor manera la fibra óptica, es por esta razón que las operadoras anteriormente mencionadas, adquieren equipos Huawei con capacidades que llegan a 2xSTM-256 en SDH, y se comienzan a manejar el concepto de canales Ethernet, Giga Ethernet y 10 Giga Ethernet. El crecimiento acelerado y sostenido de las redes móviles, nuevamente generan la necesidad de incrementar la capacidad de transmisión, por lo que entran en escena los equipos DWDM de Huawei, que manejan dentro una misma fibra óptica, hasta 40 lambdas, por las que pasan servicios Ethernet, GE, 10 GE y SDH.

Se crean los nuevos anillos nacionales, en los que se provee de protección redundante a los servicios de alta capacidad e incluso se respalda la cobertura celular al enviar su señal por un canal principal y tiene uno de reserva como protección, hablando a nivel de E1's.

Actualmente la necesidad de proveer a la red de mayor capacidad es imperiosa, debido a la aparición de la tecnología móvil 4G, la misma que ya no maneja el concepto de TDM (E1's), ahora los servicios son IP, y se requiere una capacidad desde 5 Mbps a 20 Mbps mínimos por NodoB (NB) y Envolved NodoB (eNB).

Cabe mencionar que las empresas actualmente están utilizando hasta dos fibras para DWDM y los tendidos originales de cable de fibra óptica, llevan de 48 a 72 fibras, por lo que incluso podrían aumentar aún más su capacidad y tener hilos de reserva, como contingencia en caso de cortes físicos en la fibra óptica.

OBJETIVO GENERAL

Simular una Red DWDM con el fin de analizar la capacidad de escalabilidad para operar con 128 lambdas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Seleccionar el Software de Simulación.

Simular una Red DWDM para el caso de los operadores nacionales de telefonía móvil.

Analizar la situación actual de la Red DWDM.

Analizar la escalabilidad de 40 Lambdas a 128 Lambdas.

Analizar el equipamiento que puede cumplir con el análisis de escalabilidad.

ALCANCE

Esta tesis describe la simulación de una red de telecomunicaciones DWDM que opera a 40 longitudes de onda, y como esta red puede ser escalable para operar a 128 longitudes de onda, desde la concepción de la simulación a 40 y 128 lambdas, hasta las conclusiones y recomendaciones sobre los resultados de los escenarios simulados.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica se constituye como el eje central entre los medios de transmisión para las redes de telecomunicación, es tal su acogida, que la mayor parte de tráfico de datos, van por cables submarinos que unen países y continentes, su estructura permite la transmisión de información a altas velocidades por medio de luz.

Este concepto nace con el afán de encapsular luz dentro de un medio físico de tipo dieléctrico, con atenuación mínima e inmune a la interferencia de radiofrecuencia.

A sus inicios se utilizó para su fabricación el vidrio, con un espesor que oscila entre las unidades de micrómetros, mucho más fina que el espesor de un cabello humano. En síntesis la fibra óptica es una guía de onda dieléctrica que opera en altas frecuencias, en el orden de los Terahercios (THz).

1.2 Características de la luz

A lo largo de los siglos se discutió sobre la naturaleza de la luz, planteando varias teorías, como la teoría corpuscular (electromagnética) o la de ondas (física clásica), no obstante a la luz se la trata como campo electromagnético que se

propaga en el espacio con movimientos oscilatorios periódicos. De este concepto se derivan los efectos de refracción, reflexión, difracción, entre otras.

A la luz también se la trata como partículas de energía denominados fotones, para la explicación de fenómenos tales como el efecto Compton o la desviación de la luz al pasar cerca de estrellas, se considera que la velocidad de la luz en el vacío es de 300.000 km/s, con un error inferior a 0.1%.

1.2.1 Física de la luz

Los científicos aún no llegan a una conclusión exacta de cuál es la física de la luz, si esta se comporta como onda o como partícula. La física clásica la define como onda electromagnética dadas sus propiedades de propagación en el vacío, con una velocidad definida y su trayectoria multidireccional, también al desplazarse con un movimiento oscilatorio, tiene frecuencia.

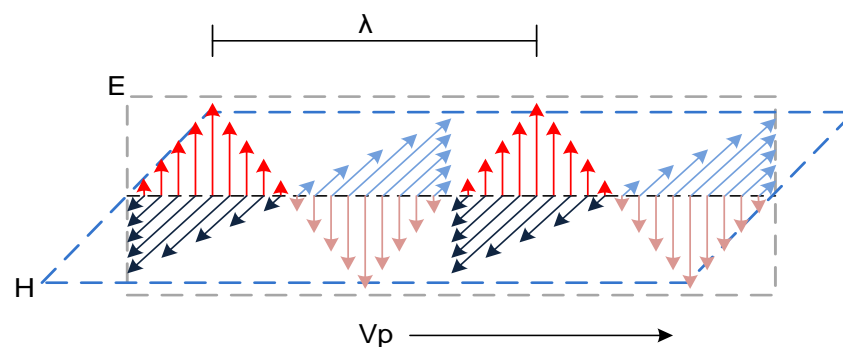


FIGURA 1.1: Trayectoria de onda electromagnética.

El ojo humano puede observar a la luz dentro de un rango definido, que va de los 440 nm a los 700 nm, siendo el violeta y azul para las frecuencias altas, mientras que el rojo para las frecuencias bajas. Al tener componentes de campo eléctrico y magnético. En la figura 1.1 se puede observar un extracto de una onda electromagnética instantánea, en la que se muestra la longitud de onda

correspondiente a la distancia entre dos picos de la onda, como se desplazan los campos eléctrico y magnético a una velocidad de propagación.

Sin embargo la luz también se la puede considerar como una partícula de energía, esta se lo aplica por ejemplo en las celdas fotoeléctricas, un fotón al chocar con un electrón, tiene la capacidad de entregarle su energía y ponerlo en movimiento, liberando energía eléctrica. Esto se muestra en la figura 1.2

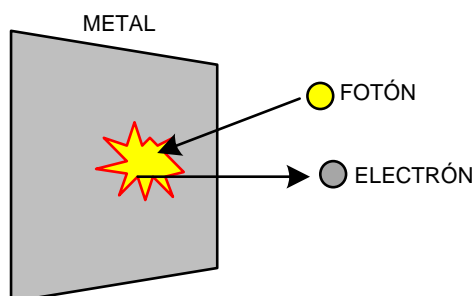


FIGURA 1.2: Liberación de un Fotón.

En conclusión la luz tiene dualidad, ya que tiene propiedades de onda y propiedades de partícula. Partiendo de este concepto, para las aplicaciones que tienen que ver con la transmisión de señales a través de fibra óptica, el estudio se lo realiza como onda electromagnética. Ya que interviene efectos como la difracción, refracción y reflexión, este último el que permite la encapsulamiento de la luz dentro de la fibra.

1.2.1.1 Concepto cuántico de la luz

Mediante el estudio de la radiación electromagnética debido a los átomos de sodio con calefacción, Max Planck, en 1901, introdujo un nuevo concepto, obteniendo buena correlación experimental. La hipótesis de Planck era muy simple: la energía

electromagnética sólo puede existir en cantidades de un valor mínimo cuántico llamada quantum, que es proporcional a la frecuencia de la energía electromagnética.

1.2.2 Espectro electromagnético

La luz visible está encasillada en una pequeña parte, dentro del espectro electromagnético. Este espectro se lo puede ordenar ya sea por frecuencia o por longitud de onda, el mismo que se puede apreciar en la figura 1.3.

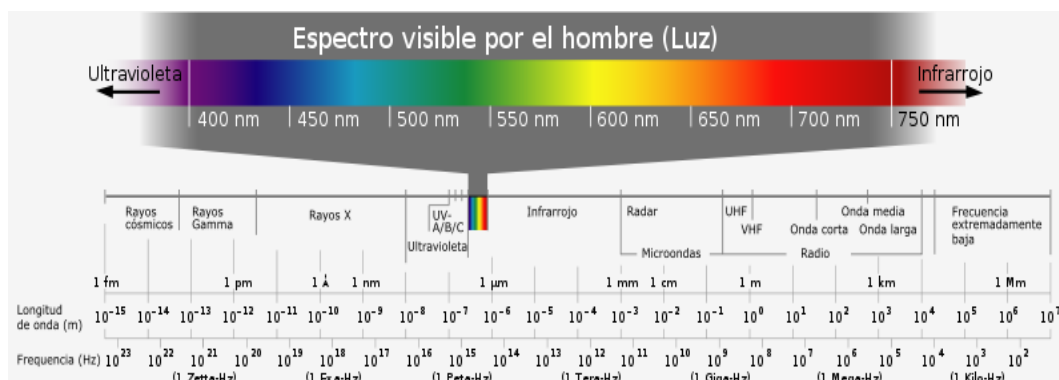


FIGURA 1.3: Espectro Electromagnético de la Luz.

Fuente: <http://electromagnetismo2010a.wikispaces.com/file/view/ESPECTRO+ELECTROMAGNETICO.pdf/139152159/ESPECTRO+ELECTROMAGNETICO.pdf>

A los extremos de la luz visible se encuentra la luz ultravioleta con longitudes de onda inferiores a los 400 nm y la luz infrarroja que se sitúa sobre los 750 nm, es en esta región donde se transmitirá luz a través de fibra óptica.

En la Tabla 1.1 se observa una descripción de los tipos de ondas electromagnéticas, junto a una referencia y su rango de frecuencia y longitud de onda, estos dos últimos son inversamente proporcionales entre sí.

TIPO DE ONDA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD DE ONDA	FRECUENCIA
RADIO	VLF	> 10 km	< 30 KHz
	LF	> 1 km	< 300 KHz
	MF	> 100 m	< 3 MHz
	HF	> 10 m	< 30 MHz
	VHF	> 1 m	< 300 MHz
MICROONDA	UHF	> 100 mm	< 3 GHz
	SHF	> 10 mm	< 30 GHz
INFRAROJO	LEJANO	> 1 mm	< 300 GHz
	MEDIO	> 50 μ m	< 6 THz
	CERCANO	> 2.5 μ m	< 120 THz
LUZ VISIBLE		> 780 nm	< 384 THz
ULTRAVIOLETA	CERCANO	> 380 nm	< 789 THz
	EXTREMO	> 200 nm	< 1.5 PHz
RAYOS X		> 10 nm	< 30 PHz
RAYOS GAMMA		> 10 pm	< 30 EHz

TABLA 1.1: Tipos de onda electromagnética, longitudes de onda y frecuencias.

El espectro que se utiliza en la transmisión de señales ópticas está entre los 820 nm y 1675 nm, en sus inicios se dividían en tres ventanas. La primera ventana corresponde a los 850 nm, con una atenuación cercana a los 2 dB/Km, para esta ventana se utilizan emisores tipo LED. La segunda ventana se encuentra a los 1310 nm, con una atenuación aproximada de 0.5 dB/km, para esta ventana se puede utilizar emisores tipo LED o LASER y la tercera ventana está en los 1550 nm, que tiene una atenuación inferior a los 0.3 dB/Km y se usan emisores tipos LÁSER.

Con la evolución en la construcción de fibra óptica, se ha permitido usar más espectro dentro y fuera de las ventanas de operación convencionales, de tal forma, la ITU-T mediante la recomendación G. suplemento 39, acerca del “Diseño de Sistemas Ópticos y Consideraciones de Ingeniería”, establece una nueva definición

de bandas de operación para la implementación de sistemas ópticos. En la figura 1.4, se muestra las ventanas y bandas de operación para sistemas ópticos.

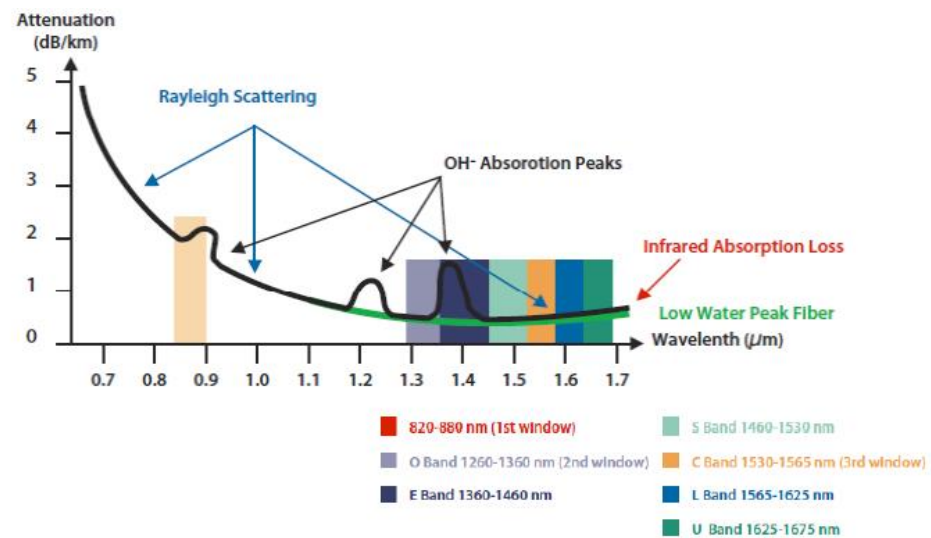


FIGURA 1.4: Ventanas y bandas de operación.

Fuente: CFO-PUCE-Cap1

Estas nuevas bandas de operación incluyen a las antiguas ventanas y tiene una mejora en sus niveles de atenuación por kilómetro. En la tabla 1.2, se observa las bandas de operación y su rango de longitud de onda.

BANDA	DESCRIPCIÓN	VENTANA	RANGO (nm)	ATENUEACIÓN (dB/km)
O	ORIGINAL (Original)	SEGUNDA	1260 - 1360	0.35
E	EXTENDIDA (Extended)	----	1360 - 1460	0.33
S	CORTA (Short)		1460 - 1530	0.25
C	CONVENCIONAL (Coventional)	TERCERA	1530 - 1565	0.19
L	LARGA (Long)		1565 - 1625	0.21
U	ULTRALARGA (Ultralong)		1625 - 1675	0.23

TABLA 1.2: Bandas de Operación.

1.2.3 Propagación de la luz

Los rayos de luz se los relaciona con su longitud de onda y no con su frecuencia como es el caso de las ondas de radio, sin embargo todo parte de dos componentes, la frecuencia y la velocidad de la luz de la que se define la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

Donde λ es la longitud de onda, c es la velocidad de la luz y f la frecuencia. La luz se propaga de forma rectilínea, mientras no cambie su medio de transmisión, viaja hacia todas las direcciones hasta que no se encuentre con un obstáculo. Dentro de la fibra óptica la luz se propaga hacia grandes distancias, usando una de las propiedades de la luz, la reflexión.

1.2.4 Reflexión total interna

Un haz de luz que se enciende y se apaga, envía datos binarios, unos y ceros a través de una fibra óptica, atravesando su longitud total hasta llegar al extremo final. Para lograr esta condición el haz de luz no deber refractarse, ya que esto puede generar pérdidas de potencia y errores.

Si el haz de luz ingresa con un ángulo tal que al chocar con la superficie del núcleo en vez de refractarse, se refleja con toda su potencia como si fuera un espejo, esta condición se la conoce como índice de refracción total.

En la Figura 1.5 se muestra como el haz de luz se refleja en el límite entre el núcleo y el revestimiento, con un ángulo que permite este proceso.

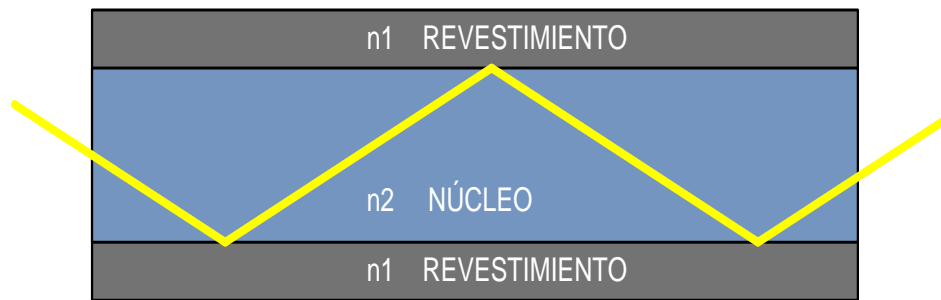


FIGURA 1.5: Reflexión de haz de luz dentro del núcleo.

Para que se pueda producir el efecto de reflexión interna total, se deben cumplir dos condiciones fundamentales:

- El índice de refracción del núcleo (n_2) debe ser mayor que el índice de refracción del revestimiento (n_1).
- El ángulo de haz de luz incidente, debe ser mayor que el ángulo crítico para el núcleo.

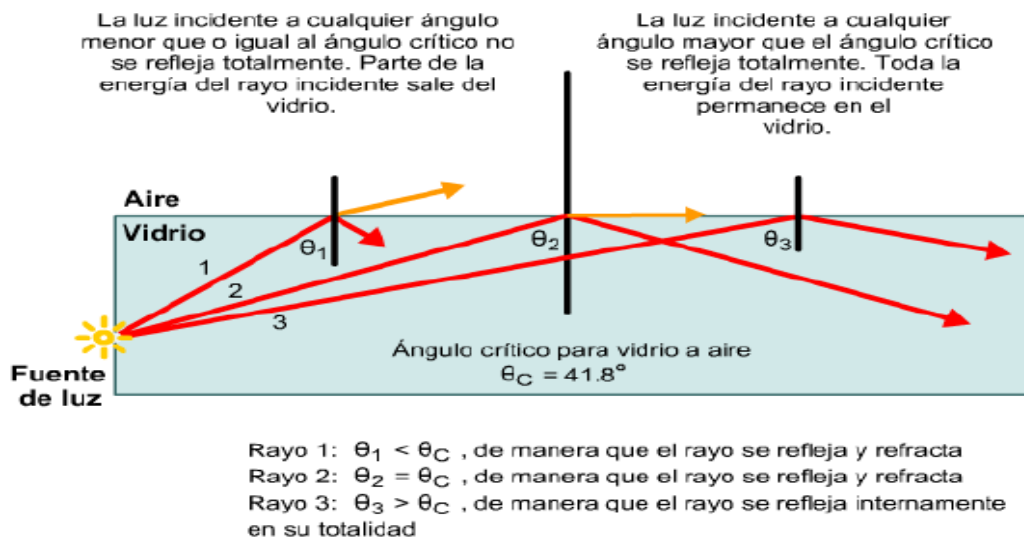


FIGURA 1.6: Efectos de reflexión y refracción sobre materiales con diferente índice de refracción.

Fuente: Certificación CCNA 1 de Cisco System

En la figura 1.6 se puede observar como un haz de luz al ingresar a un material como el vidrio como nucleó y el aire como revestimiento, con un ángulo menor o igual a su ángulo de crítico, se refleja y refracta, mientras que al ingresar con un ángulo mayor al ángulo crítico, se obtiene reflexión total interna.

1.2.5 Índice de refracción

Cuando la luz transita de un medio a otro, su velocidad cambia. Insertándose una deflexión en la luz, a esto se lo denomina refracción. El índice de refracción de un medio está definido por la relación entre la velocidad de luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz propagada en el medio (v).

El índice de refracción en el vacío es 1.0, en el aire es de 1.003, por lo general siempre se lo aproxima al 1.0. Para el caso del vidrio su índice de refracción es 1.5. Cuando la luz viaja dentro de un medio denso la velocidad de la luz disminuye para convertirse en velocidad de propagación. Al cumplirse esta condición se la denomina índice de refracción.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.2)$$

Los índices de refracción son utilizados en el diseño de fibra óptica, para comprender el funcionamiento de la refracción, se debe revisar el principio básico de la óptica. La ley de Snell

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.3)$$

La ley de Snell afirma que cuando incide haz de luz sobre una superficie de separación entre dos medios con distinto índice de refracción (n), el haz que viaja por

el medio más denso (con el índice de refracción más alto) es parcialmente reflejado y refractado a la vez. Esto se lo puede apreciar en la figura 1.7.

Si se aumenta el ángulo θ_1 , por consiguiente el ángulo θ_2 del haz refractado también aumenta. Existe un ángulo de incidencia, el mismo que provocará que el ángulo θ_2 sea igual a 90° . Al realizar este proceso se obtiene una reflexión total.

Dependiendo de las constantes de refracción de los materiales, existe un ángulo máximo $\theta_1 = \theta_{Max}$ (cuando el ángulo $\theta_2 = 90^\circ$) de incidencia del haz de luz sobre el extremo de la fibra para la cual toda la luz se propague.

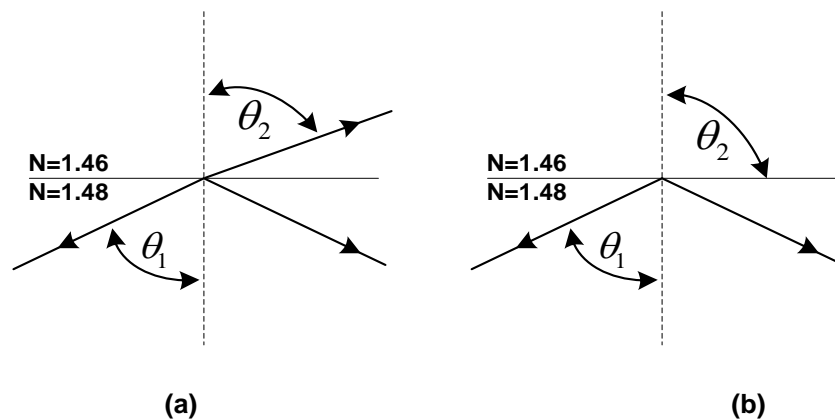


FIGURA 1.7: Índice de Refracción. (a) Reflexión y refracción. (b) Reflexión.

Este ángulo máximo de entrada, expresado en función del ángulo complementario es:

$$\alpha_{Max} = \cos^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (1.4)$$

Denominado ángulo de aceptación α_{Max} y su seno se conoce como apertura numérica (NA)¹:

1 http://www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/optica/OPTOPDF7_archivos/UNIDAD7TEMA2.PDF

$$NA = \sin \alpha_{Max} \quad (1.5)$$

En el caso de la fibra óptica (compuesta por el núcleo y el revestimiento), cualquier haz de luz que entre con un ángulo mayor al del ángulo de aceptación se refractará y escapará a través del revestimiento.

1.2.6 Apertura numérica

La apertura numérica hace referencia al ángulo máximo de incidencia α_{Max} en la que toda la luz incidente es propagada al interior de la fibra, sin que se generen refracciones, solo existe un haz de luz reflejado.

También se usa el concepto para describir la potencia recolectora de luz de la fibra y la eficiencia del acoplamiento entre la fuente de luz y la fibra. Se define como:

$$NA = \sin \alpha_{Max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.6)$$

Donde α_{Max} representa al máximo ángulo de aceptación, n_1 es el índice de refracción del núcleo y n_2 es el índice de refracción del revestimiento.

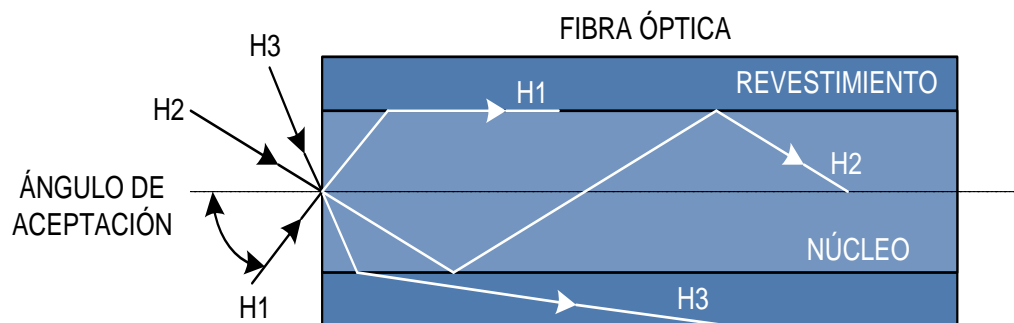


FIGURA 1.8: Ángulo de aceptación y efectos de refracción y reflexión.

En la figura 1.8 se representa el ingreso de tres rayos de luz, con diferentes ángulos de aceptación, el haz 1 (H1) ingresa a la fibra con un ángulo igual al del ángulo de aceptación, por lo que no se refleja, el haz 3 (H3) ingresa a la fibra con un ángulo superior al ángulo de aceptación, por lo que se refracta y el haz 2 (H2) ingresa con un ángulo menor al de aceptación, por lo que entra en reflexión total interna provocando que toda la luz se refleje y pueda propagarse a lo largo de la fibra óptica.

1.2.7 Estructura de la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta de las siguientes partes: El núcleo, el revestimiento, el buffer, fibra de aramido y la envoltura. En la figura 1.9 se puede apreciar las partes de un cable de fibra óptica.

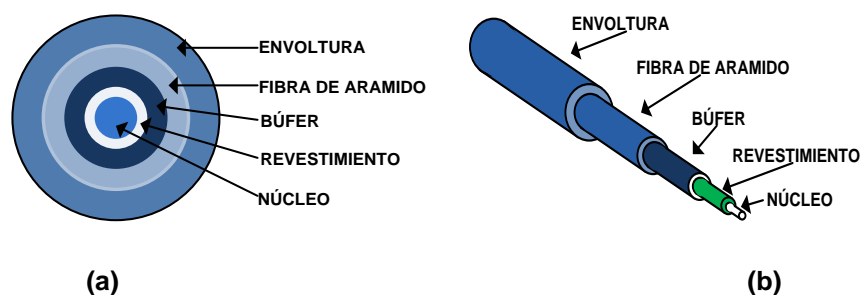


FIGURA 1.9: Estructura de la Fibra Óptica (a) Vista transversal. (b) Vista por capas.

Núcleo: El núcleo es la parte medular de la fibra óptica, ya que a través de esta la luz se propaga. Por lo general es fabricado de vidrio de una combinación de dióxido de silicio (SiO_2), también se lo construye con cuarzo y plástico. Con un diámetro entre $50\ \mu m$ a $62.5\ \mu m$ para fibras multimodo y de $10\ \mu m$ para fibras monomodo.

Revestimiento: Recubre a cada núcleo dentro de la fibra óptica, está fabricado de dióxido de silicio (SiO_2), pero con un índice de refracción menor que el del núcleo. El haz de luz se propaga por el núcleo, se refleja en el límite entre el núcleo y el revestimiento, creando el efecto de reflexión total interna.

Buffer: Es una capa de plástico que cubre el revestimiento, ofreciendo mayor protección al núcleo de la fibra óptica. Se tiene dos tipos de buffer, el de tubo suelto y apretado.

- **Tubo Suelto:** La fibra está encapsulada dentro de un tubo de plástico con diámetro mayor que el grupo de fibras dentro del mismo. Por lo general el espacio libre dentro del tubo, es llenado con gel de silicón, con el fin de evitar el ingreso de humedad. Dado que la fibra se encuentra flotando al interior del tubo, las fuerza mecánicas que actúan en el exterior no afectan físicamente a la fibra, esto resulta muy útil al momento de someter el cable a esfuerzos axiales y tensión mecánica constantes, por ejemplo: el tendido aéreo. Puesto que las tensiones mecánicas son insignificantes sobre la fibra, el cable con búfer de tubo suelto, también conocido como (Loose Buffer) tiene muy bajas pérdidas por atenuación.
- **Tubo Ajustado:** Se constituye en un tubo plástico especial, que se aplica directamente en el exterior de la fibra óptica. Esto permite obtener un diámetro más pequeño del cable de fibra óptica, aumentando la resistencia mecánica, debido que la fibra no se encuentra suelta dentro del buffer. Este tipo de cables denominado (Tight Buffer), es más flexible y liviano, ideal para el uso en aplicaciones interiores, como cableados dentro de edificios o conexión entre equipos ópticos.

Fibra de Aramido: Es una cobertura generalmente de kevlar que cubre el buffer, evitando la deformación por estiramiento de la fibra óptica al momento de instalarla.

Envoltura: Es la chaqueta exterior que envuelve todas las capas anteriores de la fibra óptica, ofreciendo protección contra la abrasión, corrosión, humedad, cortes, entre otras. Conocida también como protección mecánica de la fibra óptica.

1.2.8 Tipos de fibra óptica

Dependiendo de la trayectoria que seguirá la luz al interior de la fibra óptica, a esto se le denomina modo de propagación y se derivan dos tipos de fibra óptica: La fibra monomodo y la fibra multimodo, en la tabla 1.10 los diámetros del núcleo y del revestimiento.

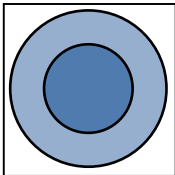
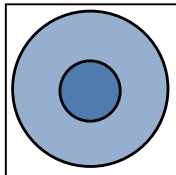
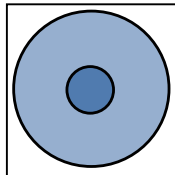
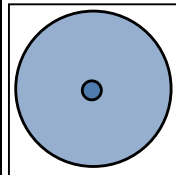
TIPO	MULTIMODO	MULTIMODO	MULTIMODO	MONOMODO
GRÁFICA				
NÚCLEO (Micrones)	100	62.5	50	10
REVESTIMIENTO (Micrones)	140	125	125	125

FIGURA 1.10: Diámetros de fibras multimodo y monomodo.

1.2.8.1 Multimodo

En este tipo de fibra la propagación de los rayos de luz puede adoptar distintos modos o caminos, por lo que no todos los rayos llegan al mismo tiempo. Dado su gran diámetro en el núcleo, es mucho más sencillo al momento de realizar conexiones y se adapta de mejor manera a componentes de baja precisión, sin embargo no es apta para la transmisión a altas velocidades y tramos extensos. Dependiendo del tipo de índice de refracción en el núcleo, se la ha clasificado en dos tipos.

1.2.8.1.1 Índice escalonado

El haz de luz es guiado dentro de la fibra debido a la reflexión total en la superficie límite del núcleo y el revestimiento. El índice de refracción es representada por la siguiente expresión:

$$n = n(1 + \Delta) \quad (1.7)$$

Donde n es el índice de refracción del material y Δ el incremento del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento. Para este tipo de fibra óptica, la apertura numérica se la representa con la siguiente expresión:

$$NA = \sqrt{2\Delta} \quad (1.8)$$

Con valores típicos que se encuentran en el rango de los 0.2 a 0.5

Las señales que ingresan al núcleo con un ángulo en donde su seno sea inferior a la apertura numérica, producen múltiples modos, de tal forma que habrá muchos rayos de luz con diferentes ángulos de reflexión propagándose a través de la fibra óptica.

Al tener muchos caminos de propagación con un núcleo más amplio, genera el efecto de dispersión modal, un tipo de dispersión que ensancha el haz de luz de forma temporal, lo cual provoca una limitación del ancho de banda y la cantidad de información a ser transmitida.

En la figura 1.11 se puede observar los diferentes haces de luz que ingresan al núcleo, con diferentes ángulos de reflexión.

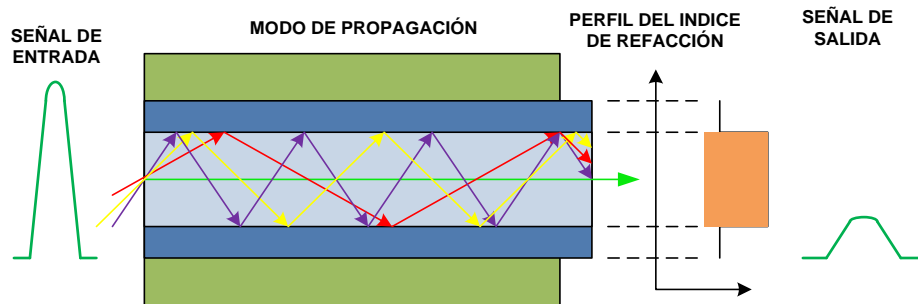


FIGURA 1.4: Fibra multimodo de índice escalonado.

El diámetro del núcleo en las fibras multimodo de índice escalonado está entre los 50 micrones a los 100 micrones y su revestimiento entre los 125 micrones a 140 micrones. Este tipo de fibra es comúnmente utilizada en enlaces cortos de hasta 1 km de distancia o para aplicaciones en redes locales.

1.2.8.1.2 Índice gradual

Para este caso el cambio de índice de refracción dentro del núcleo es de forma gradual, provocando una tipo de propagación ondulatorio del haz de luz. Comprometiendo la eficiencia de acoplamiento para obtener mayor ancho de banda.

Al variar el índice de refracción en el núcleo, produce una propagación curva del rayo luminoso, muy diferente al tipo de propagación con líneas rectas que chocan en el límite del núcleo y revestimiento. Este mayor recorrido del haz de luz, es compensado con un incremento en la velocidad de propagación en la parte exterior de núcleo. El ángulo aceptación depende de la distancia que existe hacia el eje del núcleo, siendo el máximo en el centro y casi cero en el límite con el revestimiento, mientras que la apertura numérica está definida con la misma expresión que las de índice escalonado, con un valor típico de 0.2.

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.9)$$

Generalmente las fibras multimodo de índice gradual tienen un diámetro de núcleo de 50 micrones y un diámetro de revestimiento de 125 micrones. Con menos modos de propagación y reduciendo la dispersión, es posible aumentar el ancho de banda. Este tipo de fibras son empleadas en enlaces de hasta 10 km. En la figura 1.12, se muestra la propagación en una fibra de índice gradual.

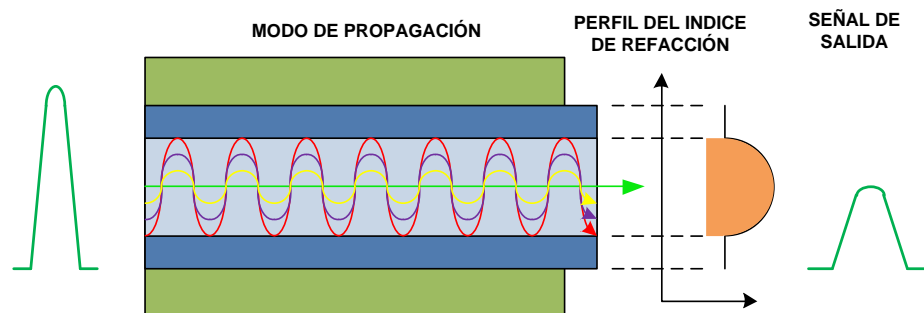


FIGURA 1.12: Fibra Multimodo de índice gradual.

1.2.8.2 Monomodo

La característica principal de este tipo de fibra consiste en el tamaño reducido del núcleo, de muy baja atenuación y una gran capacidad de ancho de banda. La propagación del haz de luz va en paralelo con el eje de la fibra, de tal forma que sigue una sola trayectoria. En su propagación son iguales a los de salto escalonado de las fibras multimodo, con un diámetro de núcleo entre los 5 micrones y 12 micrones, permitiendo propagar un solo modo.

Al tener una dispersión modal muy baja, permite tener anchos de banda impresionantes, con capacidad de transmitir grandes cantidades de información a largas distancias por sus bajas pérdidas. En la figura 1.13 se puede observar la propagación de un haz de luz en un solo modo, con índice escalonado similar a las fibras multimodo. Este tipo de fibra es ideal para los enlaces ópticos a distancias

mayores a 10 km, inclusive se ha comprobado su eficiencia en enlaces mayores a 100 km sin necesidad de amplificadores.

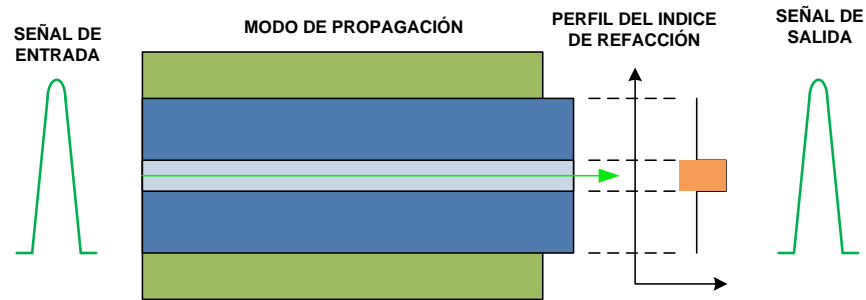


FIGURA 1.13: Fibra monomodo de índice escalonado.

Su primordial desventaja radica en la dificultad de insertar señales ópticas, debido a su apertura numérica típica de 0.1 o un anulo de incidencia de 12° . Es muy susceptible a la tensión mecánica, empalmes defectuosos, mala implementación, entre otras. Se recomienda el uso de fuentes de luz láser para la transmisión de información.

1.2.9 Dispersión

La dispersión de la luz dentro de la fibra óptica es considerado como perdidas dentro del sistema, esto debido a que la interacción de luz choca con las variaciones del índice de refracción en el núcleo y revestimiento de la fibra óptica.

Dentro del diseño de redes ópticas se deben tomar en cuenta los siguientes tipos de dispersión. Para fibras multimodo la dispersión modal, mientras que para las fibras monomodo la dispersión cromática y la dispersión de modo polarizado.

1.2.9.1 *Dispersión modal*

La dispersión modal consiste en un espaciamiento del pulso óptico, generado por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz con diferentes direcciones a través de la fibra óptica.

Este tipo de dispersión está asociado a las fibras multimodo, a medida que el pulso se propaga por la fibra óptica, se dispersa la luz, de tal forma que puede interceptar a otro pulso está propagándose, esto se constituye en una interferencia, la misma que puede ocasionar la pérdida de la información de los pulsos interferidos. En la figura 1.14 se muestra la dispersión modal que afectan a los pulsos que atraviesan la fibra óptica.

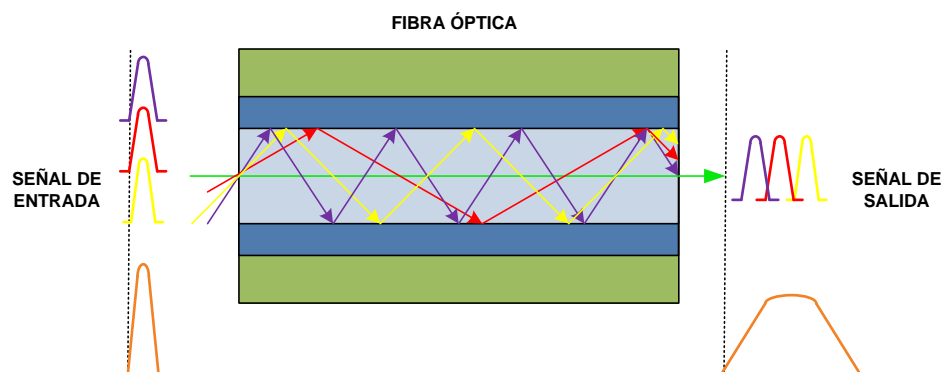


FIGURA 1.54: Dispersión modal.

Existen formas para reducir la dispersión modal, una de ellas es el uso de fibra óptica de índice gradual o con mejores resultados, el uso de fibras de índice escalonado.

1.2.9.2 *Dispersión cromática*

La dispersión cromática representa el retraso o aumento en el tiempo, para una fuente de emisión con ancho de espectro de 1nm que se propaga por 1 km de

fibra óptica. Esto depende directamente del tipo de fibra de enlace óptico y coarta la velocidad de transmisión a largas distancias. En la figura 1.15 se aprecia el efecto de dispersión cromática sobre una señal óptica.

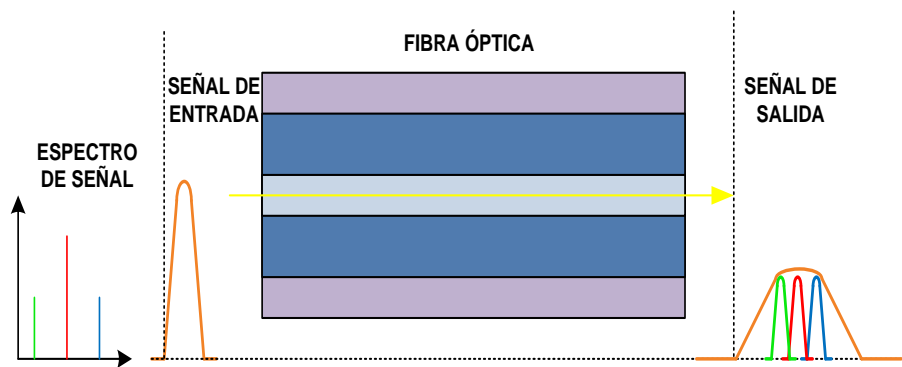


FIGURA 1.15: Dispersión cromática.

Para una transmisión de datos a una velocidad de 10 Gbps, tiene una tolerancia a la dispersión cromática de 16 veces mayor que una transmisión de información con una velocidad de 40 Gbps, al momento de dimensionar altas velocidades de transmisión es muy importante tomar en cuenta este efecto. Cada enlace óptico debe mantener un nivel estable de dispersión cromática, por lo que a medida que avance la trayectoria de la fibra óptica, se pueden implementar compensadores de dispersión cromática, suprimiendo la limitante, para el aumento de la velocidad de transmisión y la implementación de enlaces ópticos de largo alcance.

En el estándar G.652 el valor típico referencial es de $16.5 \text{ ps}/(\text{nm} * \text{Km})$, mientras que para el estándar G.655 es de $4.2 \text{ ps}/(\text{nm} * \text{Km})$. Esto sugiere que para una red óptica con estándar G.655 no requiere dependiendo del caso, el uso de compensadores de dispersión cromática, no así el estándar G.652, en el cual es necesaria contemplarlo al momento de realizar el diseño de una red óptica.

1.2.9.3 Dispersión de modo polarizado

Este tipo de dispersión hace que el pulso óptico se ensanche cuando se propaga a través de la fibra óptica, por medio del efecto de birrefringencia. Este efecto también conocido como doble refracción se presenta cuando el haz de luz incidente en el núcleo se descompone en dos señales que viajan en diferentes direcciones, manteniendo ambas señales una polarización perpendicular entre sí. En la figura 1.16 se muestra como una señal incidente es afectada por el PMD a la salida de la fibra.

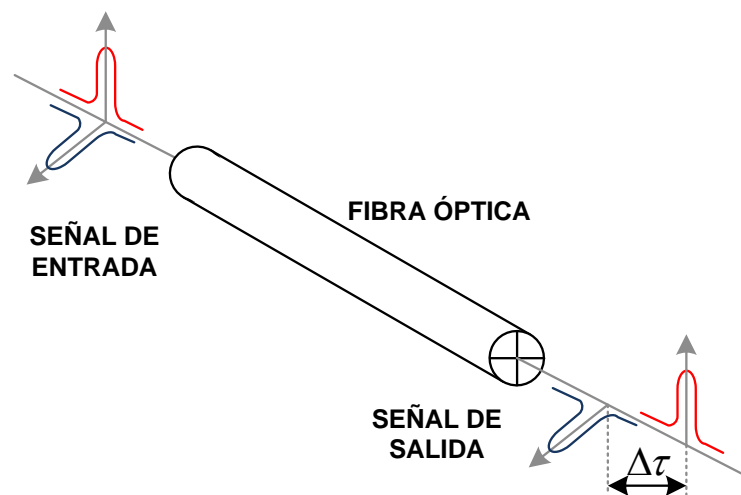


FIGURA 1.66: Dispersión de Modo Polarizado (PMD)

Debido a que el núcleo es asimétrico en su índice de refracción, ni el mismo diámetro, los dos componentes en las que ha dividido el haz de luz, se propagan en direcciones diferentes y a diferente velocidad, alcanzando su destino en tiempos distintos, a este fenómeno se lo denomina Dispersión del Modo Polarizado, de sus siglas en inglés PMD (Polarization Mode Dispersion).

Para velocidades superiores a 40 Gbps, es de suma importancia verificar el impacto que tiene este tipo de dispersión en redes en operación y futuras redes. Lo primordial es revisar los valores de PMD, que dentro normas internacionales se la sitúa en $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$.

En la actualidad el desarrollo en la producción de fibra óptica ha avanzado significativamente, por lo que para el estándar G.652 se tiene un valor típico de PMD de $0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$, sin embargo este valor es superior en el estándar G.655, por su mayor índice de refracción.

1.2.10 Estándares de fibra óptica

La ITU-T ha generado recomendaciones para los tipos de fibra óptica dentro de la serie G de sus estándares y normas. Para fibras monomodo y multimodo se han establecido las siguientes recomendaciones:

- **G.651.-** Fibra Multimodo, que permite la transmisión de varios rayos de luz por periódicas reflexiones, con estas reflexiones, aumenta la dispersión lo que limita su uso a redes cortas, no se recomienda para redes dorsales.
- **G.652.-** Fibra Monomodo, estándar de dispersión no desplazada, en sus inicios fue diseñada para operar en la segunda ventana (1310 nm), no obstante también se la puede usar en la tercera ventana de operación (1550 nm) y en las bandas O, C y L. Presenta una dispersión cromática de inferior a los $17 \text{ ps}/(\text{nm} * \text{Km})$ y valores de dispersión PMD que varían entre $0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$ y $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$, y con una atenuación entre 0.3 dB/Km y 0.4 dB/Km los dependiendo de la extensión del estándar (A, B, C y D).

Comúnmente es usada en la implementación de redes CWDM, es la más comercializada, sin embargo sus características no son aptas para sistemas DWDM, sin embargo existen compensadores de dispersión en la nueva generación de equipos DWDM.

- **G.653.-** Fibra Monomodo, estándar de dispersión desplazada, diseñada para operar en la tercera ventana (1550 nm), con una dispersión cromática de menor a $3.5 \text{ ps}/(\text{nm} * \text{Km})$, una dispersión PMD de $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$ y una atenuación de 0.35 dB/Km . Con estas características puede ser empleada en la implementación de redes de larga distancia, o redes SDH ópticas .
- **G.654.-** Fibra Monomodo, estándar especial monomodo. Se la ha diseñado para que opera en la tercera ventana (1550 nm). Esta es una fibra de bajas pérdidas por poseer un núcleo hecho de silicio puro, es por esto su alto costo. Soporta mayores niveles de potencia, su núcleo tiene un diámetro que está entre los 9.5 micrones y 10.5 micrones, con una dispersión cromática alta de $22 \text{ ps}/(\text{nm} * \text{Km})$, es utilizada para aplicaciones de larga distancia bajo el agua.
- **G.655.-** Fibra Monomodo, estándar de dispersión desplazada no nula, diseñada para operar en la tercera ventana (1550 nm) y en las bandas C y L. Con una dispersión cromática menor a $10 \text{ ps}/(\text{nm} * \text{Km})$, con una dispersión PMD que está entre $0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$ y $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$ y con atenuación de 0.35 dB/Km . Sus características reducen los efectos no lineales, se utiliza en la implementación de sistemas DWDM.

- **G.656.-** Fibra Monomodo, estándar de dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha, opera en la tercera ventana (1550 nm) y en las Bandas S, C y L. con una dispersión cromática menor a 9.28 ps/(nm * km), con una dispersión PMD de 0.2 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ y una atenuación de 0.35 dB/km. Se la utiliza en la implementación de redes CWDM y DWDM.
- **G.657.-** Fibra diseñada para redes de acceso, en su estándar se divide en dos, la tipo A que es exactamente compatible con el estándar G.652 y la tipo B tiene ciertas características del estándar G.652, sin embargo posee bajas pérdidas por macrocurvaturas. Opera en la segunda ventana (1310 nm) y tercera ventana (1550 nm). Se la emplea solo en redes de acceso.

En la tabla 1.3, se puede observar una comparación de los diferentes estándares de la ITU-T para fibras ópticas monomodo.

	G.652A	G.652B	G.652C	G.652D	G.653	G.655	G.656	G.657 A1	G.657 A2	G.657 B2	G.657 B3
Atenuación db/km@1310nm	0.5	0.4	0.4	0.4	-	N/A	N/A	0.4	0.4	0.5	0.5
Atenuación db/km@1550nm	0.4	0.35	0.3	0.3	0.35	0.35	0.35	0.3	0.3	0.3	0.3
Atenuación db/km@ 1383nm	N/A	N/A	0.4	0.4	N/A	N/A	N/A	0.4	0.4	N/A	N/A
Longitud de onda de corte	1260	1260	1260	1260	1270	1450	1450	1260	1260	1260	1260
Dispersión Cromática ps/nm.km	<17	<17	<17	<17	<3.5	<10	<9.28	N/A	N/A	N/A	N/A
PMD ps/sqrt KM	0.5	0.2	0.5	0.2	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	N/A	N/A
Macroreflexion	r=30mm #100 Att@1550 0.1db	r=30mm #100 Att@1625 0.1db	r=30mm #100 Att@1625 0.1db	r=30mm #100 Att@1625 0.1db	r=30mm #100 Att@1550 0.5db	r=30mm #100 Att@1550 0.5db	r=30mm #100 Att@1550 0.5db	r=15mm #10 Att@1550 0.25db	r=15mm #10 Att@1550 0.03db	r=10mm #1 Att@1550 0.03db	r=10mm #10 Att@1550 0.03db
MFD μm	8,6-9,5 @ 1310nm	8,6-9,5 @ 1310nm	8,6-9,5 @ 1310nm	8,6-9,5 @ 1310nm	7,8-8,5 @ 1550nm	8-11 @ 1550nm	7-11 @ 1550nm	8,6-9,5 @ 1310nm	8,6-9,5 @ 1310nm	8,3-9,5 @ 1310nm	8,3-9,5 @ 1310nm

TABLA 1.3: Comparación de las fibras monomodo de acuerdo a la ITU-T.

Fuente: http://www.atvc.org.ar/jornadas/2012/sahel_rodriguez.pdf

1.2.11 Transmisores ópticos

Los transmisores o emisores ópticos, son dispositivos transductores electro-ópticos, que emiten luz a diferentes longitudes de onda de acuerdo a las ventanas de operación de la fibra óptica.

La estructura de estas fuentes de luz están basadas en dispositivos semiconductores con uniones P-N, correspondientes a los LED o LÁSER. Los conectores permiten realizar conexiones entre equipos, ya sea entre un ODF y un puerto óptico o entre puertos ópticos. Sin embargo al ser un elemento de conexión y desconexión, debe mantener su óptimo estado para evitar problemas de alineamiento, al ser un proceso mecánico puede llevar a una degradación de la unión.

1.2.11.1 LED (*Diodo Emisor de Luz*)

El diodo emisor de luz, de sus siglas en ingles LED (Light Emitting Diode), es un elemento semiconductor que permite la emisión de luz con diferentes fines, señalización, iluminación y transmisión de información. Manejan longitudes de onda típicas de 850nm o 1300nm, es muy utilizado en comunicaciones de corto alcance.

La potencia que emite el LED es proporcional a la corriente inyectada en el mismo, tiene un ancho de banda entre los 30 nm a 50 nm. Es susceptible a los cambios de temperatura, ya que su potencia disminuye, se ensancha el espectro y existen desplazamientos, cuando se eleva la temperatura, sin embargo es más estable que un láser.

El LED tiene un tiempo de respuesta más elevado y un mayor tiempo de vida, en el cual su potencia de salida no disminuye con el tiempo, estas características hacen sencillo y de bajo costo, ideal para la implementación de redes pequeñas.

La luz emitida por el LED está basado en la emisión espontanea de fotones, debido al fenómeno de recombinación espontanea, en la que al insertar un estímulo externo (una corriente eléctrica), se genera un par electrón hueco, el que posee la propiedad de portar energía en un tiempo de vida limitado, este par electrón-hueco es liberado como un fotón, ocasionalmente esta liberación no emiten fotones. En la figura 1.17, se muestra como se libera un fotón a partir de la inducción de una corriente eléctrica.

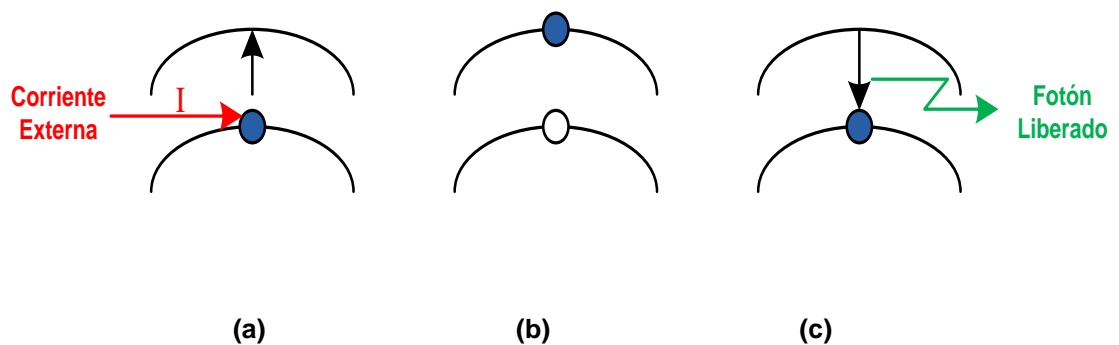


FIGURA 1.17: Emisión de luz (a) Corriente incidente. (b) Electrón-Hueco. (c) Fotón Liberado.

Los elementos semiconductores que se utilizan para la elaboración de los LED son el Arsénico, Galio, Indio y Fósforo, para 850 nm se utiliza GaAs (Arseniuro de Galio) y para 1300 nm y 1400 nm se usa InP (Fosfato de Indio).

Los conectores permiten realizar conexiones entre equipos, ya sea entre un ODF y un puerto óptico o entre puertos ópticos. Sin embargo al ser un elemento de

conexión y desconexión, debe mantener su óptimo estado para evitar problemas de alineamiento, al ser un proceso mecánico puede llevar a una degradación de la unión.

Para el cálculo de potencia emitida por un LED, se debe tomar en cuenta que la derivada del número de portadores (electrón-hueco), corresponde a la diferencia entre la generación y la recombinación, que se puede apreciar en la siguiente expresión:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \text{Generación} - \text{Recombinación} \quad (1.10)$$

Donde N es el número de portadores (electrón-hueco), la generación es el nivel de corriente inyectada y la recombinación se divide en dos: espontánea y estimulada, esta última es despreciable para el LED. De estas condiciones se describe la siguiente expresión:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\eta_I I}{qV} - R_{sp} - R_{st} \quad (1.11)$$

$$R_{st} \sim 0 \quad (1.12)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\eta_I I}{qV} - R_{sp} \quad (1.13)$$

Como el número de portadores no varía en el tiempo, se deduce la siguiente expresión:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = 0 \quad (1.14)$$

$$\frac{\eta_I I}{qV} = \frac{N}{\tau} \quad (1.15)$$

Donde $\frac{N}{\tau}$ corresponde a la recombinación espontánea, τ es el tiempo de vida de un portador, η_I es la eficiencia de corriente, I es la corriente de alimentación del LED en (Amperios), q es la carga del electrón que es $4,6 * 10^{-19}$ (Culombios) y V es el volumen del semiconductor LED. De las ecuaciones anteriores se obtiene la ecuación para la potencia emitida por el LED:

$$P_{LED} = \eta \left(\frac{hf}{q} \right) I \quad (1.16)$$

$$\eta = \eta_C * \eta_I * \eta_R \quad (1.17)$$

Donde η es la eficiencia de LED, el mismo que se divide en tres partes η_C es la eficiencia de acoplamiento, η_I es la eficiencia de la corriente, η_R es la eficiencia de la recombinación, h es la constante de Plank que es $6.628 * 10^{-34}$ J/s (Julios por Segundo), q es la carga del electrón que es $4,6 * 10^{-19}$ C (Culombios) y f es la frecuencia en Hz (Hercios).

1.2.11.2 Láser

El Láser, palabra hispanizada de las siglas en ingles LÁSER (Ligth Amplification by Stimuled Emission of Radiation), está basado en la emisión estimulada o inducida, esto se produce cuando un fotón provoca que un electrón cambie de un estado alto en energía a uno menor, liberando un nuevo fotón con la misma frecuencia y fase del anterior, lo que produce luz sincronizada y de alta potencia.

Al utilizar un cavidad resonante, se obtiene un recombinación estimulada, dentro de esta cavidad hecha de elementos semiconductores existen espejos reflectores, esta cavidad se la conoce por el nombre de su inventor Fabri-Perot.

Esta cavidad está compuesta por la región las regiones activa y pasiva, donde g corresponde a la ganancia que se genera en la región activa mientras que r_1 y r_2 son los coeficientes de reflexión de los espejos. En la figura 1.18, se parecía como está compuesto un diodo laser con cavidad Fabri-Perot.

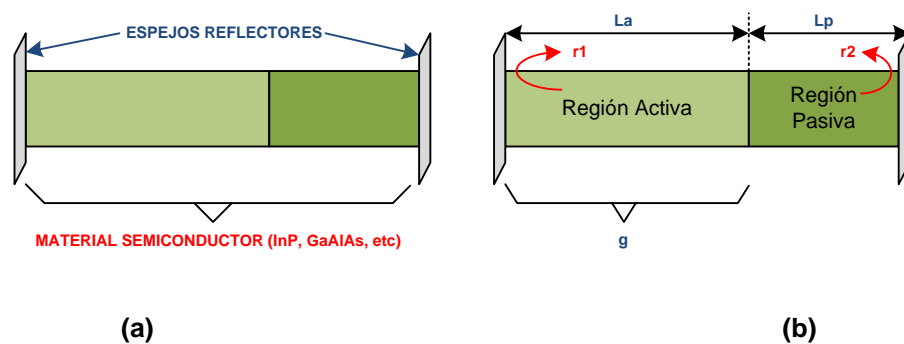


FIGURA 1.78: Cavidad Fabri-Perot (a) Estructura (b) Regiones.

En un sector de la región activa se genera la ganancia por recombinación estimulada, debido al escape de una grupo de fotones que se reflejan en los espejos extremos, de forma que, por efecto resonante aparecen varias longitudes de onda, con la inyección de más corriente, se obtiene mayor cantidad de potencia fotónica a la salida. Así también existen perdidas en las regiones, como perdidas de fotones en los espejos. En la figura 1.19, se muestra la inyección de fotones y las pérdidas de la cavidad.

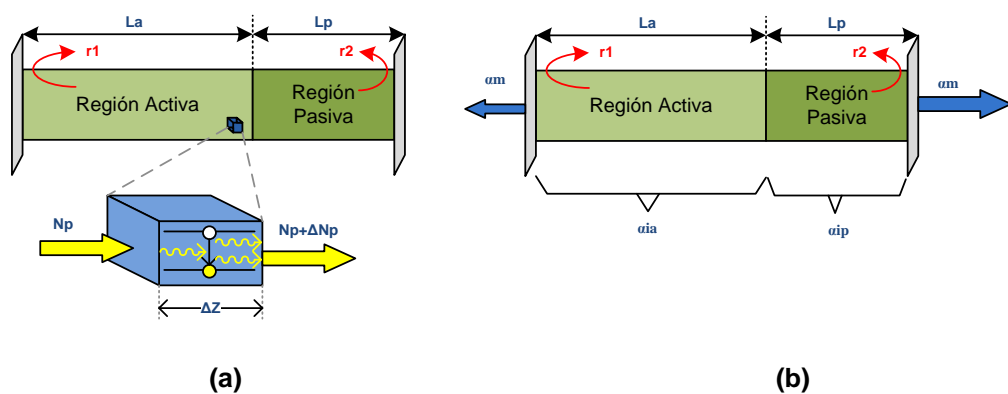


FIGURA 1.89: Cavidad Fabri-Perot (a) Inyección de Fotones, (b) Perdidas.

Las frecuencias que se generan dentro de la cavidad son uniformes y periódicas, el periodo que existe entre dos picos se lo denomina rango espectral libre, de sus siglas en ingles FSR (Free Spectral Range), y se la puede representar con la siguiente expresión:

$$FSR = \frac{\lambda_0^2}{2nL} \quad (1.18)$$

Donde λ_0 corresponde a la longitud de onda del láser, n define al índice de refracción promedio en la cavidad Fabri-Perot y L es la longitud de la cavidad del láser. En la figura 1.20 se puede observar es rango espectral libre para señales ópticas periódicas.

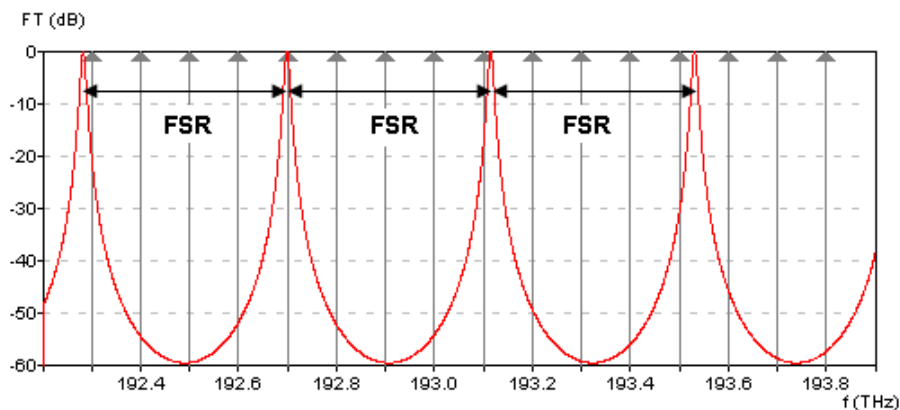


FIGURA 1.209: Rango Espectral Libre.

Fuente: http://nemesiis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_4_3.htm

Para el cálculo de la potencia emitida por un láser, se debe tomar en cuenta la recombinación estimulada, la misma que para el LED es despreciable, y se la define en la siguiente expresión:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\eta I}{qV} - \frac{N}{\tau} - R_{st} \quad (1.19)$$

$$\frac{\partial N_p}{\partial t} = \beta_{sp} R_{sp} + R_{st} - \frac{N_p}{\tau_p} \quad (1.20)$$

Donde N_p corresponde al número de fotones, R_{sp} es la recombinación espontánea, R_{st} es la recombinación estimulada, β_{sp} es el factor de acoplamiento de la recombinación espontánea, Para el cálculo de la potencia emitida por un láser y τ_p es el tiempo de vida del fotón. También hay que incluir la eficiencia y la corriente de umbral y del láser, con lo que la expresión queda de la siguiente manera:

$$P_{Laser} = \eta \left(\frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m} \right) \left(\frac{hf}{q} \right) (I - I_{th}) \quad (1.21)$$

$$\eta = \eta_c * \eta_I \quad (1.22)$$

Donde η es la eficiencia, dada por η_c es la eficiencia de acoplamiento y por η_I es la eficiencia de la corriente. La eficiencia de la cavidad se la define a partir de las pérdidas definida por $(\alpha_m/\alpha_i - \alpha_m)$, h es la constante de Plank que es $6.628 * 10^{-34}$ J/s (Julios por Segundo), q corresponde a la carga del electrón que es $4,6 * 10^{-19}$ C (Culombios), f es la frecuencia en Hz (Hercios), I es la corriente eléctrica de alimentación del laser, I_{th} es la corriente de umbral, ambas expresadas en Amperios.

1.2.12 Receptores ópticos

Los receptores ópticos o fotoreceptores, son dispositivos que se encuentra en el extremo opuesto de la fibra óptica, con el fin de detectar el pulso óptico proveniente del emisor remoto, y convertirlo en una señal eléctrica, en la que se encuentra la información a nivel de bits, que será procesado a nivel de banda base e interpretar el tipo de información recibida.

En la actualidad se tiene dos tipos de fotoreceptores, el fototransistor que es empleado para enlaces muy pequeños por su buena sensibilidad, sin embargo su bajo tiempo de respuesta lo hace incapaz de detectar tramas de alta velocidad.

El fotodiodo está basado en junturas semiconductoras (InP, InGaAs, GaAs), que al ser polarizados inversamente tiene la capacidad de detectar fotones, y bajo la presencia de un campo eléctrico da como producto una corriente eléctrica.

Dentro de los fotodiodos existen dos tipos el PIN y el APN:

1.2.12.1 PIN (*Positiva Intrínseca Negativa*)

Fotodiodo de juntura Positiva-Intrínseca-Negativa, de sus siglas en ingles PIN (Positive-Intrinsic-Negative), es el más común en el mercado, debido a su facilidad al momento de producirlo, alta fiabilidad, bajo ruido y compatibilidad con circuitos amplificadores.

Su estructura está compuesta por una capa intrínseca casi pura de material semiconductor, ubicada en el medio de dos capas de material tipo P y tipo N. Este material permite aumentar la región de transición, esto se logra restando impurezas en una de las capas, de esta forma en la zona más impura, la región de transición penetrará poco, mientras que en la zona menos impura se expandirá mucho más. En la figura 1.21, se muestra la confirmación de un fotodiodo tipo PIN.

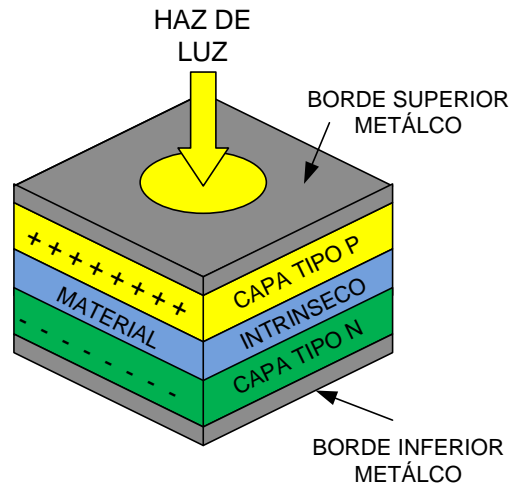


FIGURA 1.101: Estructura de Fotodiodo PIN.

Para que opere el fotodiodo PIN, se lo polariza directamente con voltajes entre los 10 voltios y 40 voltios. Para el cálculo de la corriente en función de la potencia recibida por el fotodiodo PIN, hay que tomar en cuenta la responsividad del diodo, el mismo que se define como el factor de respuesta del fotodiodo y cuantifica la eficiencia para producir una corriente eléctrica a partir de una potencia lumínica incidente, así también la eficiencia cuántica que se define como la eficiencia en el proceso de conversión de fotones en pares electrón-hueco. Dadas estas características, se expone la siguiente expresión:

$$I_{PIN} = \eta_Q \left(\frac{q}{hf} \right) P \quad (1.23)$$

Donde I_{PIN} corresponde a la corriente eléctrica de salida del fotodiodo PIN, η_Q es la eficiencia cuántica, f es la frecuencia en Hz (Hercios), h es la constante de Plank que es 6.628×10^{-34} J/s (Julios por Segundo), q corresponde a la carga del electrón que es $4,6 \times 10^{-19}$ C (Culombios), P es la potencia óptica recibida. También se puede obtener la corriente eléctrica del Fotodiodo, con el producto de la potencia

recibida y el Responsividad que tiene un valor típico que está entre los 0.5A/W a 1A/W, el cual se muestra en la siguiente expresión.

$$I_{PIN} = P * R \quad (1.24)$$

1.2.12.2 APD (Fotodiodo de Avalancha)

El Fotodiodo de avalancha, de sus siglas en ingles APD (Avalanche Photodiode), el mismo que utiliza una juntura NPIP (Negativo – Positivo – Intrínseco – Positivo), ofrece mayor sensibilidad que el fotodiodo PIN, y mayor tolerancia a las variaciones de temperatura, son estas características que lo hacen más complicada su fabricación y por ende más costoso. En la figura 1.22 se puede observar la estructura de un fotodiodo APD.

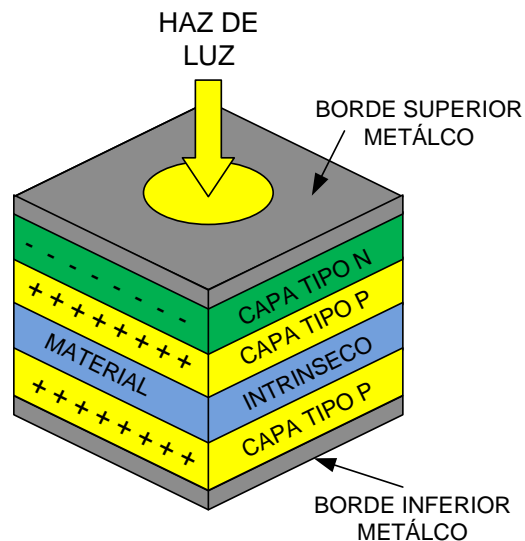


FIGURA 1.112: Estructura de Fotodiodo APD.

Para la operación de este fotodiodo, es necesario polarizarlo inversamente, de tal forma que toma el voltaje de avalancha de una juntura NP dispara rápidamente una alta corriente, antes de que elemento entre en zona de destrucción. Los valores típicos de voltaje de polarización varían entre los 40 voltios y 400 voltios.

Para calcular la corriente eléctrica en base a la potencia recibida, se usa la fórmula del cálculo para el fotodiodo PIN, con la inclusión de un factor M, el mismo que corresponde a la ganancia del fotodiodo APD que va de 1 a 100 (0 dB a 20 dB), por lo que la expresión queda de la siguiente manera:

$$I_{APD} = M * \eta_Q \left(\frac{q}{hf} \right) P \quad (1.25)$$

De la misma forma, se puede aplicar la fórmula simplificada del fotodiodo PIN, pero utilizando el valor correspondiente a la responsividad para el fotodiodo APN que se encuentre entre 0.5 A/W a 100 A/W, de esta manera la fórmula se la puede expresar de la siguiente manera:

$$I_{PIN} = P * R_{APD} \quad (1.26)$$

Pese a su corta vida útil y su tiempo de respuesta más largo, se lo utiliza para enlaces de larga distancia y de alta velocidad por su alta sensibilidad con niveles de potencia bajos. Esto se lo encuentra en dispositivos DWDM.

1.2.13 Componentes pasivos

Así como en los sistemas de comunicación convencionales existen elementos que permiten extender la red, tales como uniones de cable, acopladoras, repetidoras, conectores, entre otros. Los enlaces ópticos también disponen de dichos elementos, sin embargo se debe tener algunas consideraciones para su uso, los mismos que deben ser dimensionados correctamente en el diseño.

En un enlace óptico, el punto más importante es la distancia, ya que a partir de este, se dimensionará la cantidad de conexiones que se requieran implementar. Se podría pensar que las empresas que producen los cables de fibra óptica, fabriquen

rollos de 100 km, y de esa forma se suprimirían muchas conexiones, sin embargo existen muchos factores como, transporte, instalación y tiempo, que lo hacen inmanejable. En la actualidad se manejan rollos de cable de fibra óptica de 5 km, por lo que en un recorrido extenso, serán necesarios varios rollos y por consiguiente muchas conexiones. Dentro de estas conexiones se pueden citar las siguientes:

1.2.13.1 Conectores

Los conectores permiten realizar conexiones entre equipos, ya sea entre un ODF y un puerto óptico o entre puertos ópticos. Sin embargo al ser un elemento de conexión y desconexión, debe mantener su óptimo estado para evitar problemas de alineamiento, al ser un proceso mecánico puede llevar a una degradación de la unión.

Para mantener las características óptimas de los conectores, se debe proteger los extremos de las fibras, que pueden ser dañadas por la manipulación o la exposición a la humedad o el polvo, así también deben soportar la tensión del cable.

Los conectores de fibra disponibles en el mercado, ofrecen una atenuación entre los 0.2 dB a 0.3 dB, así también se pueden colocar elementos que eviten mayores atenuaciones como gel de transferencia óptica o simplemente el mantenimiento de los extremos de los conectores.

Dentro de los conectores de fibra óptica, existen los siguientes tipos: Los de proximidad y los de haz expandido. El primero prioriza que los extremos estén lo más cercanos posible y que los núcleos coincidan, el segundo usa lentes de forma que el emisor expanda el haz y el receptor enfoque al núcleo de su fibra.

- **Conector de Proximidad:** es uno de los conectores más utilizados, por su simplicidad y bajo costos. Su estructura está determinada por un extremo de fibra desnuda, adherido con un pegamento de resina a una férula, cilíndrica metálica, se alinea con un agujero central del tamaño del hilo de fibra.

Esto se introduce con un cilindro de alineación dentro de la carcasa que tiene un mecanismo de rosca o giro que ajusta el conector macho con su pareja en un puerto en tarjetas, uniones de expansión u distribuidor de Fibra Óptica (ODF). La atenuación de este tipo de conectores están en el rango de los 0.2 dB y 0.3 dB, comercialmente existe varios tipos como se enlista a continuación:

- ST (Strainght Tip)
 - SMA (subminiature assembly)
 - FC (fiber connector)
 - PC 3(physical contact)
 - SC (subscriber connector)
-
- **Conector de Haz Expandido:** Este tipo de conector usa la apertura numérica del haz de luz expandido, que se convierte en un haz paralelo por efecto de un lente convergente, con una distancia focal adecuada, que alcanza a un segundo lente convergente, que orienta el haz al núcleo de la fibra próxima. Este tipo de conectores son utilizados principalmente en tarjetas de circuito impreso, debido a su complejidad, su atenuación es inferior a los 0.5 dB.

En la figura 1.23 se puede observar diferentes tipos comerciales de conectores de proximidad existentes en el mercado.

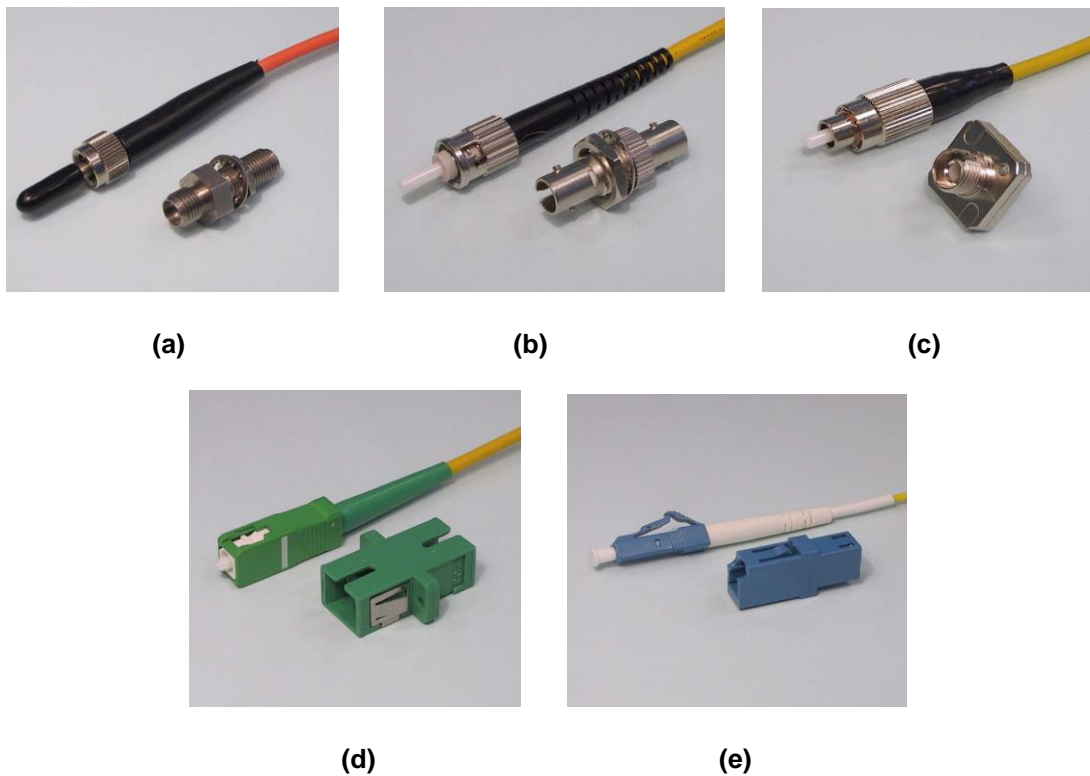


FIGURA 1.123: Conectores de Fibra Óptica (a) Conector SMA. (b) Conector ST (c) Conector FC. (d) Conector SC. (e) Conector LC.

Fuente: <http://www.telnet-ri.es/>

1.2.13.2 Empalmes

En la década de los 70, se inicia la producción de los primeros cables de fibra óptica con una atenuación de 20 dB/Km , con el transcurrir del tiempo los enormes avances tecnológicos han permitido desarrollar cables de fibra óptica, con pérdidas muy bajas en el orden de los $0,2 \text{ dB/Km}$, haciendo posible extender los enlaces ópticos a largas distancias. Así también los enlaces ópticos han tenido el mismo desarrollo, con el empleo de varias técnicas han reducido ostensiblemente sus pérdidas, a continuación se exponen los siguientes tipos de empalmes de fibra óptica:

1.2.13.2.1 Empalmes de fusión directa

Es el método más utilizado para fusionar fibras de sílice, permite la unión de dos extremos de fibra óptica por medio de una fuente de calor que funde la fibra óptica. Se consigue una baja pérdida por reflexión y gran confiabilidad.

Para el proceso se utiliza un equipo de fusión, el procedimiento consiste en cortar y retirar las cubiertas de las dos fibras a ser empalmadas, se realiza su respectiva limpieza y se insertan las dos puntas limpias, en los extremos de la máquina de fusión, quedando un frente a la otra conservando una separación de 2mm como máximo.

La máquina de fusión por medio de un microscopio, permite visualizar las dos puntas de la fibra óptica Fibra en una pantalla LCD, alinea y junta los extremos, y se produce una descarga eléctrica por un lapso muy pequeño de tiempo. La máquina hace una medición de la atenuación del empalme, una vez terminado se procede a su recubrimiento y protección.

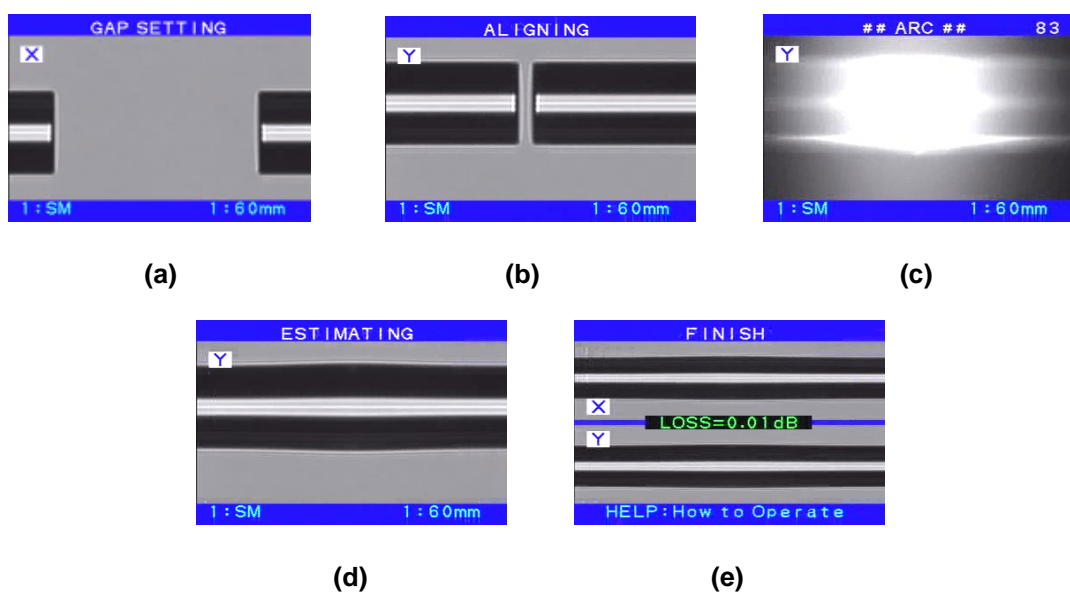


FIGURA 1.134: Empalme de Fusión (a) inserción de fibras. (b) Alineación de fibras. (c) Arco de fusión. (d) Revisión y estimación. (e) Medición de pérdidas y finalización.

Fuente: <http://www.yio.com.ar/fo/empalmes.html>

En la figura 1,24 se muestran las pantallas dentro del proceso que la máquina de fusión, realiza para fusionar la fibra óptica obteniendo pérdidas de 0.01 dB a 0.10 dB.

1.2.13.2.2 Empalmes mecánicos y adhesivos

En este tipo de empalmes no se usan métodos de fusión, para el caso de empalmes mecánicos, estos capsulas cilíndricas o cuadradas hechas de metal o plástico, en el cual se introducen las fibras desnudas por sus extremos, ya que no es posible observar si las fibras se encuentran alineados con sus centros y a una distancia pequeña, se inyecta un gel fotoconductor que permita la reflexión del haz de luz, se aseguran las fibras con presión, similar a la presión que se ejerce sobre conectores BNC en un cable coaxial. Se lo recubre para evitar degradaciones, este método tiene mayor atenuación en el mejor de los casos se puede conseguir 0.1 dB a 0.8 dB.

En la figura 1.25 se observa cómo está conformado un empalme mecánico, así también se muestra una de las características de estos empalmes, que permite unir dos fibras de diferente diámetro.

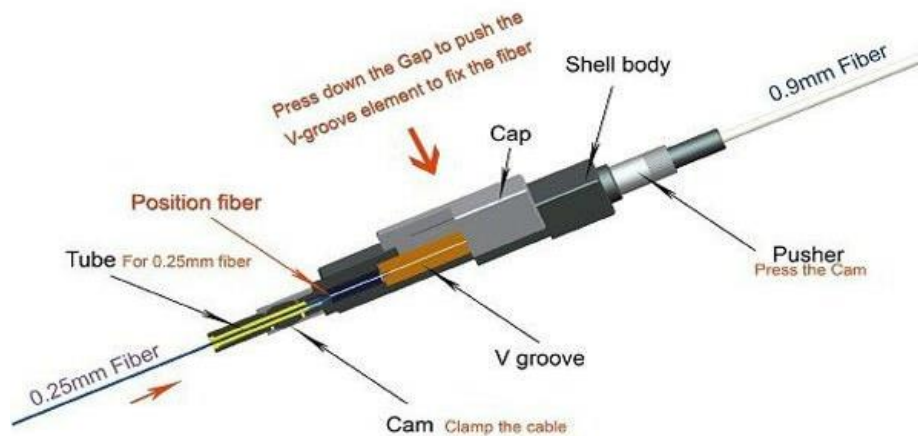


FIGURA 1.145: Estructura de un empalme mecánico.

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/fiber-optic-mechanical-splice-unikit-l925b-splicer-optical-fiber-splice-548552228.html>

El método adhesivo consiste en colocar ambos extremos de la fibra óptica, sobre un material adhesivo que fije los extremos de la fibra con una mínima separación y completamente alineadas, se lo encapsula en una carcasa plástica. Los valores que se obtiene por atenuación varían entre 0.1 dB y 0.5 dB.

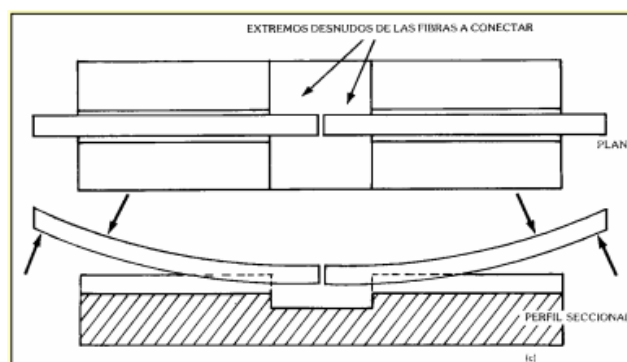


FIGURA 1.156: Partes del empalme óptico adhesivo.

Fuente: <http://www.freewebs.com/carlosbianchi/08-Empalmes.pdf>

En la figura 1.26 se muestran las partes de un empalme adhesivo, en donde las fibras desnudas se fijan hacia un capsula con un elemento adhesivo epóxico.

1.2.13.3 Acopladores

Los acopladores son dispositivos que hacen posible la distribución de luz de una fibra principal hacia un grupo de fibras. Existen dos formas de distribución, interacción por medio del núcleo e interacción superficial. La distribución por medio del núcleo, consiste en la alineación de múltiples núcleos, al núcleo principal.

La interacción superficial, utiliza la conversión de medios guiados por el núcleo a través de un eje perpendicular, de modo que salen del núcleo hacia otras fibras pasándola superficialmente. Estos acopladores fueron los primeros que aparecieron, sin embargo en la actualidad se manejan acopladores, que permiten la división de la señal principal en varias señales, más conocido como splitter, la combinación de varias señales en una sola fibra, conocido como combinador y aquellos que permiten tener las mismas características de un combinador y un splitter con la característica de que conserva el mismo nivel de potencia, a estos se los conoce como multiplexores y demultiplexores.

En las figuras 1.27 se puede observar un divisor óptico o splitter y en la figura 1.28 se muestra un combinador óptico

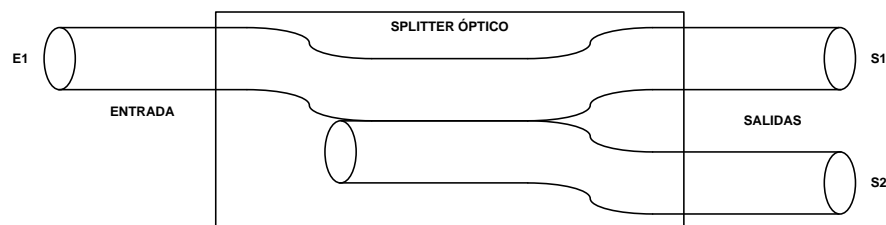


FIGURA 1.167: Partes de un divisor óptico.

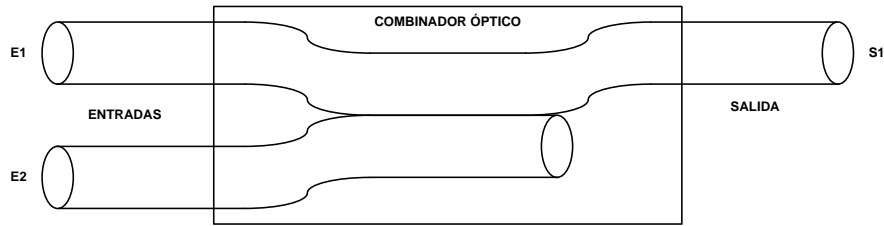


FIGURA 1.178: Partes de un combinador óptico.

El divisor óptico tiene una relación de potencia la misma que se reduce a la salida con respecto a la entrada, esta reducción se da por la siguiente expresión:

$$P_{sal} = P_{ent} - n - \alpha_{ex} \quad (1.27)$$

Donde P_{ent} es la potencia de entrada al splitter, $3n$ corresponde al número de salidas y α_{ex} representan las pérdidas en exceso, pérdidas adicionales de splitter, que tienen un valor aproximado de 2 dB.

Para el combinador el proceso es inverso, todas las entradas se junta en una salida común y para este proceso se lo puede expresar de la siguiente manera:

$$P_{sal} = P_{ent} + n - \alpha_{ex} \quad (1.28)$$

Donde P_{ent} es la potencia de entrada al combinador, n corresponde al número de entradas y α_{ex} representan las pérdidas en exceso, pérdidas adicionales del combinador, que tienen un valor aproximado de 2 dB.

1.3 REDES DE TRANSPORTE

Debido a la acelerada demanda de servicios informáticos, tales como video conferencias, telemedicina, video bajo demanda, aplicaciones multimedia,

transferencia de datos de alta velocidad, entre otras. Las empresas de telecomunicaciones han tenido que buscar nuevas tecnología para satisfacer estos requerimientos.

En la actualidad el único medio que permite ofrecer esta gama de servicios es la fibra óptica, por medio de la multiplexación de enlaces ópticos en operación. Si bien los equipos de transporte usan como medio de transmisión a la fibra óptica, esto no es suficiente para incrementar la velocidad y la capacidad de información que se requiere transmitir.

Cada vez se necesita tender más y más kilómetros de fibra óptica para mantener en funcionamiento una capacidad limitada, sin embargo; ahora es posible optimizar el medio de transmisión, de tal forma que por una misma fibra óptica se puedan transmitir varios canales simultáneamente. A este proceso se lo denomina multiplexación por división de longitud de onda, en sus siglas en ingles WDM.

1.3.1 Desarrollo de la tecnología

En sus inicios el WDM consistió en la transmisión simultánea de dos portadoras ópticas, cada una con una longitud de onda diferente. A partir de este concepto se desarrollaron dos tipos de multiplexación de longitud de onda, el CWDM y DWDM:

1.3.2 CWDM

Multiplexación por División de Longitud de Onda, de sus siglas en ingles CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), hace referencia a una división de longitudes de onda más amplia, 18 canales definidos para esta tecnología, tienen

una separación de 20 nm dentro del rango de 1270 nm a 1610 nm. Alcanza distancias de entre 50 km a 80 km y una velocidad de 2.5 Gbps.

Las longitudes de onda que se utilizan en CWDM, esta normalizadas de acuerdo a la ITU-T en su recomendación G.694.2, con frecuencia se utilizan 8 longitudes de onda, que se encuentran en las bandas C, L y parte de la S. al utilizar más de 8 longitudes de onda, se debe usar la banda E, y la fibra óptica empleada corresponde a la fibra monomodo G.652. Al utilizar todas las longitudes de onda disponibles es necesario el uso de fibra monomodo G.652C, en la figura 1.29 se muestra la rejilla de longitudes de onda para CWDM.

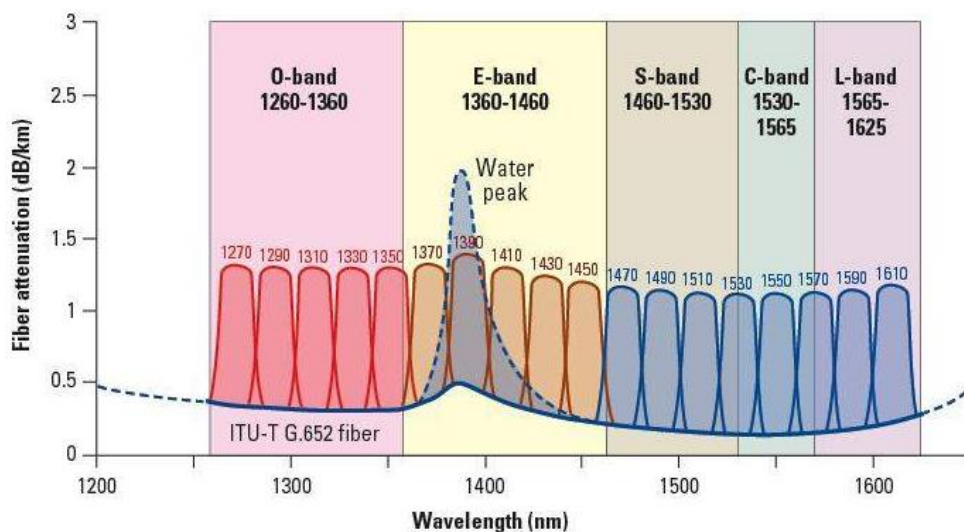


FIGURA 1.189: Longitudes de Onda para CWDM de acuerdo a la recomendación G.694.2.

Fuente: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/cwdm.php>

Es una tecnología de transporte de bajo costo, con respecto a DWDM, de tal forma que para la gestión de los equipos, se usa el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol), parte del protocolo TCP/IP. Para la transmisión de la señal óptica se emplean diodos LED para cortas distancia y para distancias medias y largas

diodos laser, de igual forma para la recepción de la señal se usan fotodiodos PIN y APD, este último con módulos de ventilación.

Esta tecnología se la utiliza en redes metropolitanas, ya que ofrece una mayor capacidad de transporte versus tecnologías SDH y Gigabit Ethernet, presentes en las redes actuales. Al optimizar el medio de transmisión, proporcionando hasta 18 canales por una misma fibra, permitiendo transmitir hasta 45 Gbps, en comparación a un STM-256 (40 Gbps) o 4 señales 10 Gigabit Ethernet, al poseer velocidades por canal de 2.5 Gbps, es óptimo para la transmisión de señales PDH (E4 o E5), SDH (STM-16), ATM, Gigabit Ethernet.

Al realizar una comparación de costos, la tecnología CWDM está alrededor de un 35% a un 65% más bajo, en comparación a DWDM por el mismo número de longitudes de onda disponibles.

1.3.3 DWDM

Al igual que CWDM, esta tecnología permite la transmisión de información por medio de la multiplexación de longitudes de onda, pero a diferencia de CWDM maneja muchos más longitudes de onda. En la actualidad DWDM puede transmitir información a velocidades de hasta los 100 Gbps, con una rejilla de longitudes d onda de hasta 160 lambdas. Son equipos costosos, por lo que se requiere una fuerte inversión para la implementación de una red, no obstante su operación y mantenimiento es sencillo, la mayor cantidad de eventos se generan en la fibra óptica, los equipos son confiables y de gran performance.

Para la implementación de una red DWDM es necesario tomar en cuenta las siguientes características:

1.3.4 Características de las redes DWDM

Un sistema DWDM en su capa física tiene características similares a un sistema SDH o SONET con capa eléctrica, óptica o mixta, como se puede apreciar en la figura 1.30.

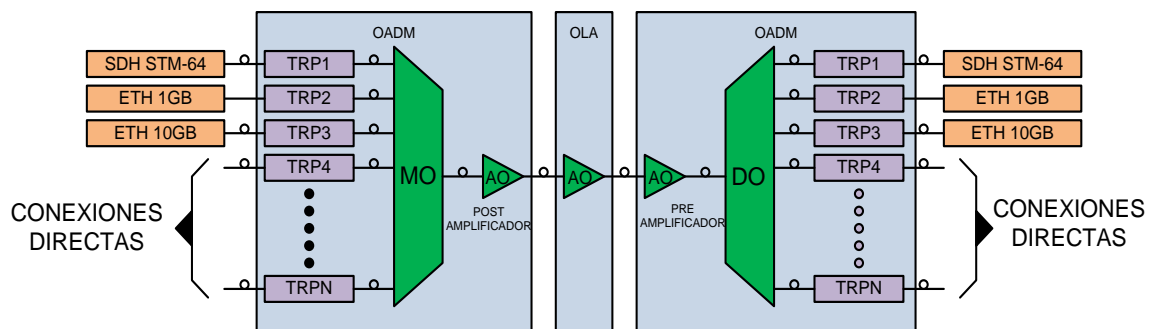


FIGURA 1.30: Red DWDM punto a punto.

- **Transponder (TRP)**, permite a su entrada cualquier laser proveniente de multimodo o monomodo. La fuente puede venir de cualquier tipo de tráfico (SDH, ATM, IP) o distinto medio físico (eléctrico u óptico) La longitud de onda de cada señal a su entrada es mapeada a un longitud acorde a DWDM.
- **Multiplexor**, las longitudes de onda proveniente de cada transponder, convergen en el multiplexor, estas señales son multiplexadas en una sola señal óptica y a su vez transmitida a través de la fibra óptica
- **Post Amplificador**, asociados al proceso de multiplexación, se generan pérdidas, esto depende directamente del número de canales. Esto se corrige con amplificadores ópticos, que amplifican todas las longitudes de onda sin conversiones eléctricas. A la salida del sistema se usa un post amplificador.

- **Amplificador Óptico**, a medida que la transmisión avanza por el medio, existen pérdidas ópticas, ya sea por efectos de dispersión, absorción, radiación o acoplamiento. Esto se lo corrige con el uso de amplificadores y compensadores a lo largo del tendido de fibra. Estos parámetros deben estar contemplados dentro del dimensionamiento de la extensión del enlace óptico.
- **Pre Amplificador**, al llegar la señal óptica al receptor, esta puede tener baja potencia, por lo cual se usa un pre amplificador, con el fin de reforzar la señal recibida.
- **Demultiplexor**, se realiza el proceso inverso a la multiplexación, la señal óptica recibida, es dividida en longitudes de onda individuales y cada una alcanza a su correspondiente transponder. La señal en cada transponder es recibida por un fotoreceptor y obtiene la interface transmitida desde el punto uncial.

1.3.4.1 Parámetros de la transmisión en sistemas DWDM

La alta importancia de la capa óptica dentro de un sistema DWDM, ya que de esta depende el transporte de las señales en la red. Los principales parámetros se exponen a continuación.

1.3.4.1.1 Espaciamiento entre canales

El espaciamiento entre canales corresponde a la frecuencia mínima de separación que entre las diferentes longitudes de onda a ser multiplexadas dentro de la fibra óptica.

Con el transcurso del tiempo y la evolución de la tecnología esta separación se ha ido reduciendo, dando paso al incremento de longitudes de onda, esta separación va de los 200, 100, 50, 25 y 12.5 GHz. En la actualidad la ITU ha estandarizado los espaciamientos de 12.5, 25, 50 y 100 GHz, y figura en la recomendación G.694.1.

1.3.4.1.2 Dirección de la señal

Para la implementación de sistemas DWDM se deben considerar dos formas de direcciones:

- **Unidireccional.-** donde todas las longitudes de onda son enrutadas hacia la misma dirección dentro de la fibra óptica, para lo cual se requieren dos hilos para transmitirlos en ambos sentidos.
- **Bidireccional.-** donde el canal se lo subdivide para cada dirección, con esto se suprime el uso de una segunda fibra, pero con la respectiva reducción de la capacidad de ancho de banda para transmisión.

1.3.4.1.3 Ancho de banda

Los sistemas DWDM tienen la capacidad de transmitir señales ópticas con un gran ancho de banda. El láser utilizado para los típicos sistemas DWDM alcanzan velocidades de 10 Gbps, equivalente a un STM-64 en SDH, un OC-192 en SONET o un canal 10 Gigabit Ethernet, se pueden multiplexar entre 40 u 80 longitudes de onda, proveyendo de una velocidad total de 800Gbps por una sola fibra óptica.

En la actualidad los nuevos equipos DWDM pueden manejar velocidades de 40 Gbps y 100 Gbps por longitud de onda, con capacidad de multiplexación de 80 a 160 canales, con esta premisa se puede esperar transmitir velocidades entre los 6.4 a 16 Tbps sobre la misma fibra óptica.

1.3.4.1.4 Potencia

La potencia de transmisión en las redes ópticas decrece de forma exponencial con respecto a la distancia, esta potencia es suministrada generalmente por una fuente laser, sin embargo a medida que la señal se propaga intervienen elementos que la disminuyen como: atenuación, dispersión, efectos no lineales, amplificación, conversión, entre otras.

1.3.4.1.5 BER

La tasa de Bits Errados, de sus siglas en ingles BER (Bit Error Rate), es una medida probabilística que refleja el nivel de bit detectados con errores o bits errados dentro de un sistema de transmisión.

Esta medida depende de muchos factores como el medio de propagación, el estado de las tarjetas, las conexiones físicas, pero la más importante es el ruido. En el receptor es donde se realiza el cambio de señal óptica a señal eléctrica, esto induce un movimiento errante de los electrones en el fotoreceptor, originando el ruido.

La pruebas de BER sobre un enlace ya sea óptico o eléctrico es sumamente importante al momento de realizar las pruebas de aceptación, esto asegura que enlace trabaje con fiabilidad y con una alta disponibilidad.

VELOCIDAD	BER 10^{-9}	BER 10^{-10}	BER 10^{-11}	BER 10^{-12}
100 Gbps	1 Segundo	2 Minutos	21 Minutos	3 Horas 29 Minutos
40 Gbps	3 Segundos	6 Minutos	53 Minutos	8 Horas 47 Minutos
10 Gbps	13 Segundos	21 Minutos	3 Horas 30 Minutos	1 Día 10 Horas 58 Minutos
2.5 Gbps	51 Segundos	1 Hora 25 Minutos	14 Horas 3 Minutos	5 Días 20 Horas 29 Minutos
1 Gbps	2 Minutos	3 Horas 30 Minutos	1 Día 10 Horas 58 Minutos	14 Días 13 Horas 33 Minutos
622 Mbps	4 Minutos	5 Horas 37 Minutos	2 Días 8 Horas 12 Minutos	23 Días 9 Horas 55 Minutos
155 Mbps	14 Minutos	22 Horas 29 Minutos	9 Días 8 Horas 46 Minutos	93 Días 15 Horas 38 Minutos

TABLA 1.4: Niveles de BER para diferentes velocidades de transmisión.

La ITU establece dentro de su estándar un nivel de BER de 10^{-12} como referencia para las tecnología síncronas como SDH o SONET y un nivel de BER de 10^{-15} para los sistemas DWDM. En la tabla 1.4 se puede apreciar cual debe ser el nivel de BER para canales a diferentes velocidades, con una disponibilidad del 99%.

1.3.4.2 Ruido

En los sistemas de comunicación siempre está presente el ruido, así también los sistemas ópticos tiene márgenes de ruido que se presenta dentro de la transmisión de señales ópticas que viajan por la fibra. La relación entre el nivel de potencia y el ruido se la conoce como OSNR (relación señal a ruido óptico).

1.3.4.3 Cálculo de nivel de potencia

Los niveles de potencia en un sistema óptico, no difieren mucho con respecto a los niveles que se manejan en un sistema de comunicaciones convencional ya sea por fibra óptica u otro medio de transmisión. Para el cálculo de la potencia de transmisión, se deben tomar en cuenta los siguientes componentes: Fibra óptica,

conectores, empalmes, patchcords, entre otros. Considerando estos elementos, más el margen de seguridad, se tiene la siguiente expresión.

$$P_{TX} = P_{RX\ Limite} + Perdidas + Ms\ (dB) \quad (1.29)$$

Donde P_{TX} corresponde a la potencia de salida del transmisor óptico, $P_{RX\ Limite}$ es el nivel de sensibilidad de receptor óptico, Ms es el margen de seguridad y las perdidas agrupan todas las atenuaciones por distancia, dispersión, acoples y empalmes.

Para el cálculo del presupuesto de potencia (ΔP), por lo general se expresa como la diferencia del nivel de potencia de transmisión y el nivel de sensibilidad en recepción, que a su vez representa el máximo valor de pérdidas permisible dentro del enlace, el mismo que asegure un nivel de recepción óptimo.

Si el nivel de potencia de recepción es menor al nivel de sensibilidad del receptor, se requiere implementar amplificadores, caso contrario el sistema funcionará sin necesidad de amplificar su señal. A medida que la fibra óptica se aleja de su fuente de transmisión u origen, se debe tomar en cuenta su factor de atenuación, el mismo que viene especificado dependiendo del tipo de fibra y la longitud total del enlace, dentro del diseño.

Los métodos que se emplean para el dimensionamiento del nivel de potencia a ser transmitido:

- Distancia * Atenuación dB/km + Margen de diseño + perdidas de conectores.
- Distancia * 0.275 dB/km.
- Pérdidas reales + 3 dB de margen de diseño.

Los primeros dos métodos son netamente teóricos y dan un aproximado de las posibles pérdidas reales dentro del sistema, el ultimo método es el más fiable, ya que la fibra se encuentra tendida y se puede cuantificar las pérdidas reales de la fibra y se adiciona una pérdida de 3 dB por diseño.

1.3.4.4 Diseño a nivel de ancho de banda

El ancho de banda dentro de la fibra óptica depende de la dispersión temporal producida en la fibra óptica sobre la señal transmitida. Esta dispersión temporal total, se la expone como $\Delta T d$, y está compuesta de dos tipos: la dispersión temporal modal ($\Delta T m$) se produce por los modos de la fibra, sólo aplicada en la fibra monomodo y la dispersión temporal cromática, esta se produce por la dispersión de la señal mientras viaja por la fibra ópticas, tanto para fibras monomodo como multimodo.

Dado que la principal característica de la redes DWDM es su larga distancia, se utilizan fibras monomodo por sus propiedades de baja atenuación y largo alcance. La dispersión cromática está determinada por la distancia recorrida por la señal expresada en (km) y por el coeficiente de dispersión (θ_c), que es a su vez, es una característica de la fibra óptica, con la que se establece cuantos nanosegundos (ns) es dispersada la señal óptica por nanómetros (nm) de ancho espectral de la fuente óptica.²

$$\theta_c \left[\frac{ns}{nm} * km \right] \quad (1.30)$$

En los sistemas de comunicación siempre está presente el ruido, así también los sistemas ópticos tiene márgenes de ruido que se presenta dentro de la

transmisión de señales ópticas que viajan por la fibra. La relación entre el nivel de potencia y el ruido se la conoce como OSNR (relación señal a ruido óptico).

El ancho espectral de la portadora óptica $\Delta \lambda$ [nm] es una característica del equipo, junto con la distancia (L) recorrida por la señal. De esto se puede deducir:³

$$\Delta_{Tc} = \theta_c * \Delta \lambda * L \quad (1.31)$$

Para definir el ancho de banda dentro de la fibra óptica, se puede tomar la siguiente expresión:

$$BF_{fo} = \frac{0.44}{\Delta_{Td}} \quad (1.32)$$

$$\Delta_{Td} = (\Delta_{Tm}^2 + \Delta_{Tc}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.33)$$

Al considerarse que no interviene dispersión modal, dado que es un enlace óptico que usa generalmente fibra monomodo, el ancho de banda puede expresarse de la siguiente manera:

$$BF_{fo} = \frac{0.44}{\theta_c * \Delta \lambda * L} \quad (1.34)$$

En conclusión el ancho de banda depende directamente de la distancia del enlace óptico, por lo cual se debe dimensionar de forma correcta cual es el ancho de banda requerido, con el fin de situar a una distancia necesaria un compensador de dispersión cromática.

1.3.4.5 Diseño a nivel de ruido

Un factor importante dentro del diseño de redes ópticas, es la relación señal a ruido, y en general es una característica de los sistemas de comunicación. La relación señal a ruido óptico (OSNR) en un sistema óptico, corresponde a la relación entre el nivel de potencia óptica transmitida y el nivel de potencia de ruido dentro del sistema, expresado en (dB).

A medida que el haz de luz atraviesa la fibra óptica, se generan pérdidas, el nivel de potencia de transmisión original, se atenúa conforme aumenta la distancia, por lo que se requiere aumentar la potencia periódicamente, con el uso de amplificadores ópticos. Sin embargo a la salida de estos elementos también se puede producir un aumento en el nivel de ruido. Por esta razón es necesario balancear la ganancia óptica asociada a los amplificadores.

Los receptores ópticos reconocen un nivel determinado de OSNR, por lo que se lo puede expresar con la siguiente ecuación.

$$OSNR = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_n} \quad (1.35)$$

Siendo P_s la potencia de la señal y P_n la potencia de ruido.

1.4 TECNOLOGÍAS PDH, SDH, SONET

La necesidad de mejorar las comunicaciones ha sido el reto de las compañías de telecomunicaciones, partiendo en primera instancia el evolucionar de la comunicación análoga a la comunicación digital, esto se lo consigue con el desarrollo del PCM (Pulse Code Modulation) o modulación por impulsos codificados, el mismo que procesa una señal análoga mediante el muestreo, cuantificación y codificación.

Obteniendo un canal de 64 Kbps, esta velocidad se la usa dentro de un canal telefónico. Posteriormente por medio de multiplexación por división de tiempo, de sus siglas en ingles TDM (Time Division Multiplexing), estos canales se juntan para crear el E1, 32 canales de 64 Kbps que se constituyen en un canal de 2048 Kbps.

Para entonces aparece la tecnología de transmisión Jerarquía Digital Plesiócrona, de sus siglas en ingles PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), que permite la multiplexación de E1's, hasta conformar un E4 con una velocidad de 140 Mbps, sin embargo, al manejar sincronismo independiente, proceso de multiplexación rígido y los altos costos del equipamiento, surge una nueva alternativa la Jerarquía Digital Síncrona, de sus siglas en ingles SDH (Synchronous Digital Hierarchy) proveniente de la ITU y como norma europea; de igual forma entre en escena la Redes Ópticas Síncronas, de sus siglas en ingles SONET (Synchronous Optical Network) establecida por la ANSI y como estándar norteamericano.

Estas tecnologías permitieron incrementar aún más la velocidad limitada del PDH, así como una multiplexación menos rígida, con costos por equipamiento más bajo, y el uso de redes ópticas para el transporte de información. Con el uso de fibra óptica se pueden alcanzar mayores distancias y velocidades, por lo que se concibe una nueva evolución y varios servicios TDM, ahora pueden viajar a través de una sola fibra, esto es posible con la Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa, de sus siglas en ingles DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

1.4.1 PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona)

La comunicación digital acude a la multiplexación para congregar varios canales en una sola señal, dado que un canal digital en su mínima expresión, se

encuentra estandarizada a 64 Kbps, sin embargo los niveles de multiplexación tiene varias jerarquías como la japonesa, norteamericana y europea.

A este conjunto de jerarquías se las conoce como plesiócronas, debido a que se usa un reloj diferente para cada nivel de multiplexación, siendo independientes entre sí. Un canal de 2048 kbps está conformado por 16 tramas o **Frames** señaladas desde la fila 0 a 15, cada trama tiene 32 columnas o intervalos de tiempo denominados TS (**Time Slot**), numerados del 0 al 31, cada uno de estos octetos o Byte (8 bits) lleva un canal de 64Kbps.

En el intervalo de tiempo TS0, se envía la información de supervisión del enlace y el alineamiento de trama, en el TS16 se utiliza para la señalización correspondiente al canal, los restantes TS1 al TS15 y TS17 al TS31, llevan la información de un canal telefónico digital o datos a una velocidad de 64 Kbps. A continuación en la figura 1.31 se muestran las diferentes jerarquías y sus niveles de multiplexación:

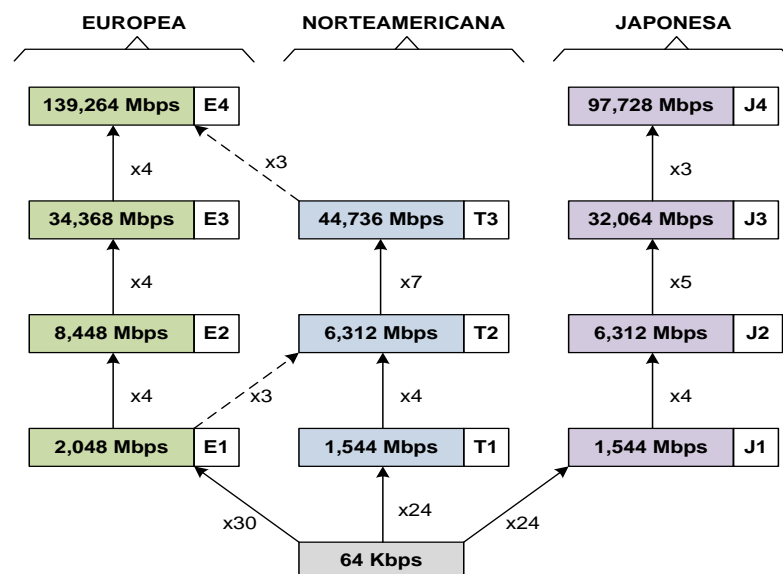


FIGURA 1.191: Jerarquías de Multiplexación Plesiórona.

Cada nivel de multiplexación tiene parámetros de velocidad, tolerancia, tensión Vpp, códigos de línea, impedancia entre otros. Así también las interfaces son eléctricas, por lo que se usa cable coaxial para su interconexión, en la tabla 1.5 se muestra las características relevantes de los canales en cada uno de los niveles de multiplexación PDH.

<i>Jerarquía</i>	<i>Canal</i>	<i>Primera</i>	<i>Segunda</i>	<i>Tercera</i>	<i>Cuarta</i>
Velocidad kb/s	64	2048	8448	34368	139264
Tolerancia ppm	± 100	± 50	± 30	± 20	± 15
Tensión Vpp	± 1	$\pm 2,37$	$\pm 2,37$	± 1	$\pm 0,5$
Tolerancia %	10	10	10	10	10
Código de línea	Co-Dir.	HDB3	HDB3	HDB3	CMI
Ancho pulso nseg		59	14,55	7,18	
Impedancia Ohm	120	75	75	75	75
Alternativa		3V/120ohm			
Ecualización dB	3dB/128K	6dB/1M	6dB/4M	12dB/17M	12dB/70M
Secuencia prueba	$2^{11}-1$	$2^{15}-1$	$2^{15}-1$	$2^{23}-1$	$2^{23}-1$

TABLA 1.5: Características de la interfaz eléctrica de los niveles de multiplexación PDH.

Fuente: <http://www.robertoares.com.ar/wp-content/uploads/2010/06/Seccion-4.pdf>

Para la multiplexación de una trama E1 en niveles superiores dentro del estándar europeo, se requiere congregarse en grupos de 4, conformando un E2, repitiendo el proceso se obtiene un E3 y de igual manera un E4. Sin embargo, para extraer un E1 desde un E4, se deben realizar todo el proceso, esto conlleva a tener varios multiplexores para extraer cada uno de los niveles, aun si estos no eran requeridos, esto incrementaba el costo de los equipos y el número de ellos al momento de implementar una red digital.

1.4.2 SDH (Jerarquía Digital Síncrona)

La historia de la Jerarquía Digital Síncrona, se remonta al año de 1985, la Bellcore (Bell Communication Reserch) presenta una normativa a la ANSI, con el fin

de estandarizar las jerarquías digitales para los operadores de fibras ópticas que operan de síncrona.

Sin embargo ANSI estandarizó SONET, la jerarquía para fibras ópticas monomodo y la interfaz óptica, de esta manera se propuso a la ITU (en aquel momento CCITT) para el año de 1986. Dentro de la ITU, las compañías proponen diferentes velocidades, creando una pugna para la estandarización definitiva.

La ITU toma el control de esta situación y realiza cambios medulares para unificar las distintas redes digitales, partiendo de una velocidad de 155.520 Kbps y realiza las comisiones que dan origen al SDH en el año de 1988, eso dentro de la recomendación G.707. A partir de esta velocidad inicial, se crea la trama SDH, lo que permite desarrollar multiplexores que tengan la capacidad de administrar velocidades inferiores y superiores con eficiencia y a bajo costo. De esta forma se pueden extraer e insertar canales típicos PDH, sobre canales de alta capacidad SDH.

C	Contenedor: está diseñado para transportar un canal plesiócrono de acuerdo con ITU-T G.703 o para señales de banda ancha en el Modo de Transferencia Asíncronico ATM.
VC	Contenedor Virtual: se estructura de dos formas. Una de ellas reúne al contenedor más una Tara de Trayecto POH; la otra posibilidad contiene varios TUG.
TU	Unidad de Tributario: contiene los punteros que indican la posición de cada VC dentro de la trama.
TUG	Grupo de Unidades de Tributario: resulta de la multiplexación por entrelazado de Bytes de unidades TU.
AU	Unidad Administrativa: se trata de una trama que contiene al contenedor virtual VC y los punteros PTR que indican la posición de éste respecto del módulo STM-1.
STM-1	Módulo de Transporte Síncronico: se efectúa mediante el agregado de la Tara de Sección SOH.

TABLA 1.6: Elementos de la trama SDH.

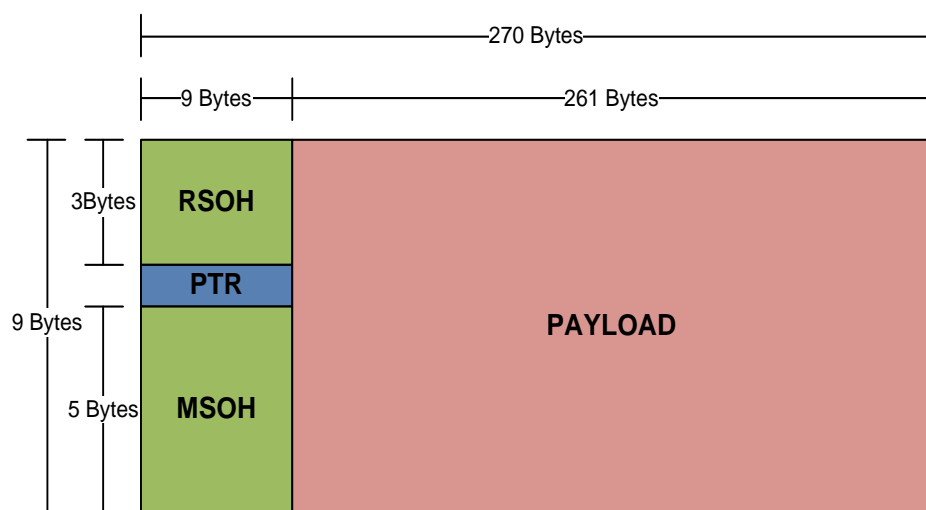
Fuente: <http://www.robertoares.com.ar/wp-content/uploads/2010/06/Seccion-4.pdf>

El primer nivel de la jerarquía digital sincrónica corresponde a una velocidad de 155520 kbps y se denomina Módulo de Transporte Sincrónico STM-1. En la tabla 1.6, se muestra como se compone una trama STM-1.

En las etapas subsiguientes para llegar al STM-1, se compone como una serie de contenedores, una dentro de la consecutiva, con información de cabecera adicional. El contenedor inicial tiene una identificación (Path Trace), con varios contenedores se integra un grupo al cual se le agrega una identificación anexa.

La trama del STM-1 consta de 270 Bytes de longitud y 9 Bytes distribuidas filas de altura. Los 9 primeros Bytes se usan para la cabecera de Sección SOH (Section Over-Head) y para los punteros PTR del VC-4 (fila 4), los restantes 261 Bytes corresponde a la información o (Payload).

La duración de cada trama es de 125 μ s con lo cual tiene el mismo período que el muestreo del canal a 64 kbps y la trama de 2048 Kbps.⁴ En la figura 1.32, se observa la composición de una trama STM-1.



⁴ <http://www.robertoares.com.ar/wp-content/uploads/2010/06/Seccion-4.pdf>

FIGURA 1.202: Estructura de la Trama STM-1.

Los punteros reconocen la ubicación de un VC4, VC3 y VC12 dentro de la trama, permiten la absorción de cambios de fase o velocidad, realizando un proceso de justificación entre unidades VC-N que ingresan al STM-1. En la figura 1.33 se muestra los punteros en la trama STM-1.

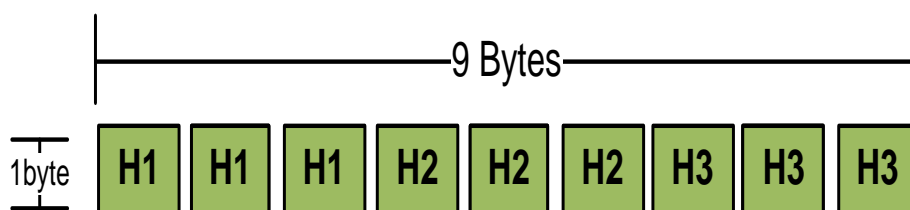


FIGURA 1.213: Punteros de la Trama STM-1.

- **H1 1 Byte.** (NNNN SS ID) llevan información de alineamiento NNNN; indicación si se trata de AU/TU mediante SS y los punteros ID.
- **H2 1 Byte.** (ID ID ID ID) información complementaria de punteros. Cuando se forma el VC-4.
- **H3 3 Bytes.** Se usan como oportunidad para la justificación negativa. Los Bytes 0 se usan para la oportunidad de justificación negativa.

La cabecera SOH se divide en dos: RSOH y MSOH. El RSOH, o sección de regeneración, se usan para aplicaciones entre repetidores y consta de las primeras tres filas, mientras que el MSOH, o sección de multiplexación, se la utiliza en multiplexores, toma las 5 últimas filas de SOH. La distribución de bits para ambas cabeceras se expone de la siguiente manera:

- **Cabecera de Sección de Regeneración**

En la figura 1.34 se muestra cada uno de los Bytes que conforman la cabecera RSOH.

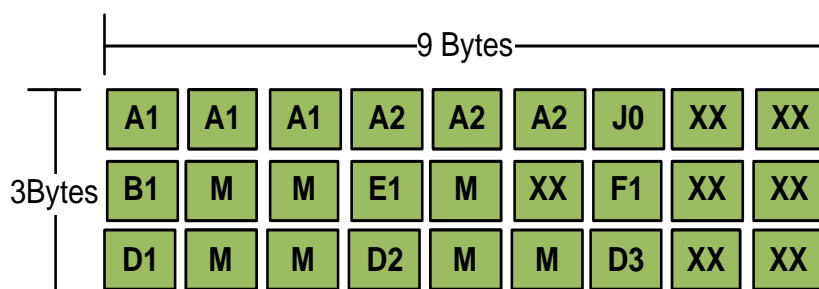


FIGURA 1.224: Bytes de Cabecera RSOH.

- **A1/A2 6 Bytes.** A1 (1111 0111) y A2 (0010 1000) sirven para el alineamiento de trama.
- **C1/J0 1 Byte.** Como byte C1 identifica a cada STM-1 dentro de un nivel superior STM-N.
- **B1 1 Byte.** Byte de paridad para el monitoreo de la tasa de error entre repetidores.
- **E1 1 Byte.** Canal de comunicación a frecuencia vocal para operación y mantenimiento.
- **F1 1 Byte.** Reservado uso del operador de red, para conexiones de canal de datos temporal
- **D1/D3 3 Bytes.** Tránsito de canales de comunicación de datos DCC repetidores (DCCR 192 kbps).
- **R/M 6 Bytes.** Son destinados para uso del medio de enlace. En los sistemas radioeléctricos se usa para la comunicación del sistema de conmutación automática, para alarma de errores, para reporte de potencia recibida, como Hop Trace.

- **XX.** Estos bytes conforma un canal de servicio para radioenlaces denominado Wayside 2 Mbps.

- **Cabecera de Sección de Multiplexación**

En la figura 1.35 se observa cada uno de los Bytes que conforman la cabecera RSOH.

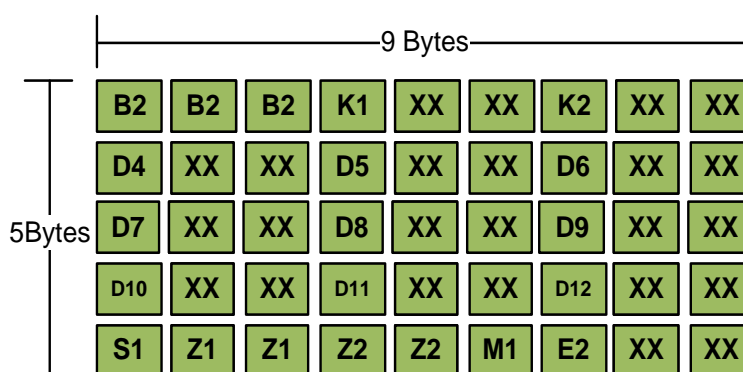


FIGURA 1.235: Bytes de Cabecera MSOH.

- **B2** 3 Bytes. Paridad par del tipo BIP-24 para el monitoreo de errores entre terminales.
- **K1/K2** 2 Bytes. Son usados para la comunicación entre sistemas de conmutación automática.
- **D4/D12** 9 Bytes. Canal de comunicación de datos entre terminales (DCCM a 576 kbps).
- **S1** 1 Byte. (RRRR SSSS) se aplica para el estado de sincronización.
- **Z1, Z2** 4 Bytes. Reservados.
- **M1** 1 Byte. Propuesto para la secuencia (RRRR FEBE); donde los bits FEBE llevan información del número de errores.

- **E2** 1 Byte. Canal de servicio entre terminales multiplexores. Se trata de un canal orderwire a 64 kbps con codificación PCM.
- **XX**. Estos bytes conforma un canal de servicio para radioenlaces denominado Wayside 2 Mbps

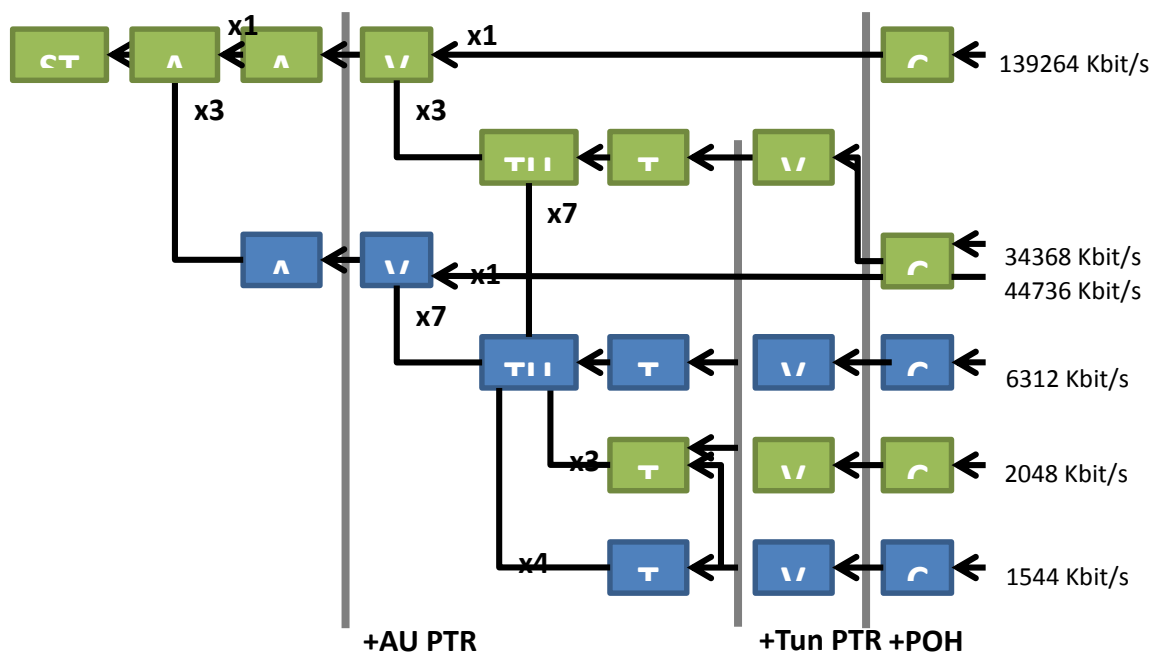


FIGURA 1.246: Mapeo de la Trama STM-1.

El mapeado de un STM-1, consiste en dividirlo, para llegar a su componente más elemental que es el contenedor C11, C12, C3 y C4, dentro de este proceso se observan los diferentes punteros y puntos de multiplexación de los contenedores. En la figura 1.36 se puede apreciar el mapeo de una trama STM-1.

En SDH también se puede hacer multiplexación sucesiva a partir del módulo STM-1, al ser trama única y para obtener velocidades superiores se emplean N tramas STM-1, del cual nace el STM-N, la velocidad de transmisión se la multiplica por 4, 16, 64 y 256, en la tabla 1.11 se muestra las velocidades superiores al STM.1

IDENTIDAD	VELOCIDAD
STM-1	155 Mbps
STM-4	622 Mbps
STM-16	2.5 Gbps
STM-64	10 Gbps
STM-256	40 Gbps

TABLA 1.7: Velocidades superiores al STM-1.

Una de las características primordiales de SDH es que cuenta con un sincronismo principal para toda la red, este sincronismo lo provee un reloj máster y se distribuye en cascada entre todos los elementos de la red. El sincronismo se toma de la referencia de reloj de mejor calidad, el PRC (Primary Reference Clock) es la primera referencia de sincronismo de reloj estrato 1, dependiendo del material que esté construido, se obtiene mayor estabilidad; los materiales empleados son Hidrógeno, Cesio, Rubidio y Cuarzo.

La red de gestión de telecomunicaciones, de sus siglas en ingles TMN (Telecommunications Management Network), permite monitorizar cada uno de los elementos SDH dentro de una red. Cada uno de estos elementos se los denomina NE (Network Element) y convergen en un sistema propietario, el mismo que se encarga de acceder, visualizar y modificar los parámetros de configuración de los elementos de red.

1.4.3 SONET (Red Óptica Síncrona)

Red Óptica Síncrona, de sus siglas en ingles SONET (Synchronous Optical Network), es una estándar normalizado por la ANSI (American National Standarization Institute) y fue concebido con el fin de mejorar los niveles de velocidad en transmisión digital a través de fibra óptica.

Dentro de este estándar se manejan dos términos para la transmisión digital de señales, el primero corresponde a un OC (Optical Carrier), es la unidad más baja de transporte de una señal óptica dentro de SONET, equivale a un OC-1 (51.84 Mbps) y llega una velocidad máxima de un OC-768 (39813 Mbps). Para el transporte de una señal eléctrica, SONET dispone del STS (Synchronous Transport Signal) con un módulo inicial de STS-1 (51.84 Mbps), sin embargo para sus velocidades superiores pasan de ser eléctricas a ópticas.

OPTICAL CARRIER (OC) LEVEL	SYNCHRONOUS TRANSPORT LEVEL (STS) LEVEL	VELOCIDAD DE SEÑAL (Mbps)	EQUIVALENCIA PARA CANALES DS-3 (45 Mbps)	EQUIVALENCIA PARA CANALES DS-0 (64 Kbps)
OC-1	STS-1	51.84	1	672
OC-2	STS-2	103.68	2	1344
OC-3	STS-3	155.52	3	2016
OC-4	STS-4	207.36	4	2688
OC-9	STS-9	466.56	9	6048
OC-12	STS-12	622.08	12	8064
OC-18	STS-18	933.12	18	12096
OC-24	STS-24	1244.16	24	16128
OC-36	STS-36	1866.24	36	24192
OC-48	STS-48	2488.32	48	32256
OC-96	STS-96	4976.00	96	64512
OC-192	STS-192	9953.00	192	129024
OC-768	STS-768	39813.00	768	516096
OC-1536	STS-1536	79626.00	1536	1032192
OC-3072	STS-3072	159252.00	3072	2064384

TABLA 1.8: Velocidades de Señales en SONET.

En la tabla 1.8 se observa las diferentes velocidades dentro de SONET. El primer nivel dentro de la jerarquía es la Señal de Transporte Síncrono de nivel 1 STS-1 (Synchronous Transporte Signal) y está constituida por 870 Bytes, con 90 Bytes de longitud y 9 Bytes de altura.

Los primeros 3 Bytes se encuentra la cabecera de transporte TOH (Transport Over-Head), esta cabecera está dividida en dos partes, la sección de cabecera SOH (Section Over-Head) y la línea de cabecera LOH (Line Over-Head).

En los restantes 87 Bytes se ubica la carga síncrona envolvente SPE (Synchronous Payload Envelope). En el interior del SPE se asigna 1 Byte para la cabecera de ruta POH (Path Over-Head). Toda la trama tiene una velocidad de 51.84 Mbps. La duración de la trama es de 125 μ s, corresponde a la misma velocidad del muestreo de un canal telefónico digital de 64 kbps. En la Figura 1.37 se puede apreciar las partes de la trama STS-1.

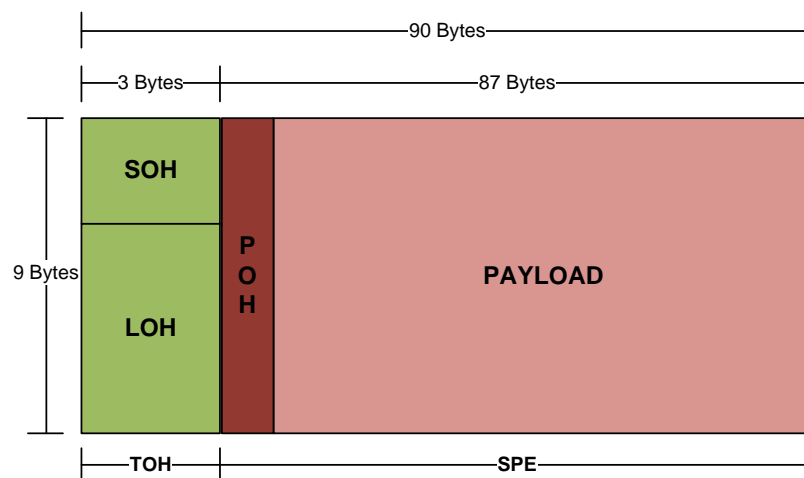


FIGURA 1.257: Estructura de la Trama STS-1.

El TOH dispone de múltiples Bytes de control distribuidos entre el SOH y LOH, a diferencia del STM-1, los punteros están dentro de la cabecera y ya no existen Bytes reservados M para radio enlaces y XX para Wayside. En la figura 1.38, se muestra los Bytes de la TOH y POH.

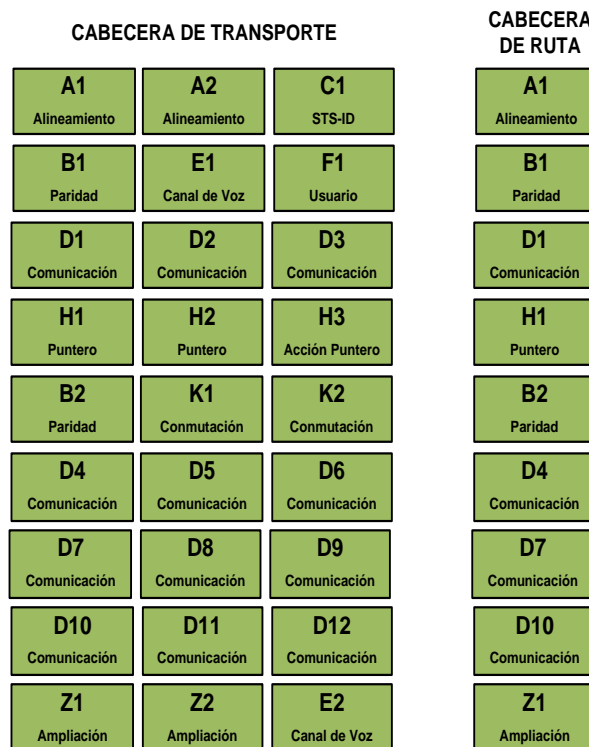


FIGURA 1.268: Bytes de la TOH y POH.

Para el sincronismo de cada señal STS-1, este lleva en el interior del Payload un puntero (payload pointer), que indica en cada línea STS-1, el Byte de inicio de la trama, por defecto el puntero no está vinculado dentro de la estructura de la trama, sino que esta se encuentra flotando respecto a la trama.

A diferencia de otros sistemas que usan mapeado fijo, en donde los datos de menor velocidad viajen dentro de un flujo de mayor velocidad, lo que genera un desbalance en las tramas de información, siendo corregidas estas diferencias de temporización por medio de buffers temporales de 125 μ s.

Este tipo de sincronismo, permite temporizar la multiplexación plesiócrona de los niveles inferiores y alinear las señales STS-N superiores.

1.4.4 Comparaciones entre tecnologías

Siendo tecnologías de transporte PDH, SDH, SONET y DWDM tiene varias similitudes y diferencias. Sus similitudes tanto PDH, SDH y SONET están basada en Multiplexación por división de Tiempo TDM, se puede decir que DWDM también soporta de forma transparente TDM, con la diferencia de que también puede manejar ATM, Gigabit Ethernet entre otras, es decir soporta múltiples protocolos.

Para el manejo de Gigabit Ethernet en SDH, necesita crear contenedores virtuales y ajustar la capacidad del STM-1 a la carga Ethernet, por lo general con desperdicio y falta de capacidad. Dentro de SDH y SONET las señales deben convertirse de eléctricas a ópticas y viceversa antes de ser multiplexadas, así también toma señales plesiócronicas y síncronicas y las transmite en una sola longitud de onda.

Por su parte DWDM toma varias señales ópticas, las mapea en longitudes de onda individuales y todas las longitudes de onda las multiplexa sobre una fibra óptica única. También posee un alto nivel de escalabilidad ya que se puede administrar de forma eficiente el medio de transmisión, sobre tendidos de fibra óptica con fibra oscura, que se puede recuperar para la operación de varios anillos o contingencia en caso de rupturas.

Permite mejorar velocidad y sencillez al momento de proveer conexiones dinámicas de red, dando a los proveedores la posibilidad de ofrecer servicios de gran ancho de banda en tiempo reducidos de meses a días.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Un software de simulación es una excelente herramienta, para comprender el funcionamiento de múltiples tecnologías antes de ser implementadas. Este tipo de software no es exclusivo solamente de las redes o de los circuitos electrónicos, existe una gran cantidad de programas de simulación para muchas áreas de estudio.

Dentro del campo de la fibra óptica, se puede encontrar programas que simulan los índices de refracción de los materiales antes de construir un cable de fibra, otros que simulan los componentes pasivos como conectores, empalmes, splitters, combinadores, entre otros, asegurándose que estos trabajen de excelente manera antes de fabricarlos.

Para el diseño y simulación de redes ópticas existen varios programas, entre los más renombrados, se encuentra el OptSim de la empresa Synopsys que se dedica a la creación de software para simulación en varios campos tecnológicos, OptiSystem de la empresa Optiware que elabora software para el campo de las comunicaciones y dispositivos de fibras óptica.

2.1.1 OptSim

Simulador potente, con una gran librería, compuesta por múltiples dispositivos que permiten la simulación de sistemas ópticos. Posee un interface gráfica, de fácil

manejo y comprensión. Entre sus características relevantes se encuentran las siguientes:

- Simulación de varios sistemas ópticos como:
 - Sistemas DWDM / CWDM
 - Sistemas FTTx / GPON
 - Redes LAN ópticas, etc.
- Interfaces con herramientas de cálculo y simulación como:
 - MATLAB
 - BeamPROP
 - GratingMODE
 - LaserMOD
- Amplio contenido de librerías:
 - Transmisores
 - Receptores
 - Amplificadores
 - Moduladores
 - Fibras Ópticas, etc.

Este simulador tiene licencia y su proceso de descarga de evaluación es complejo y para su funcionamiento requiere una llave (pen drive), sin la que es imposible su funcionamiento. En la figura 2.1 se aprecia la interfaz gráfica del software de simulación Optsim.

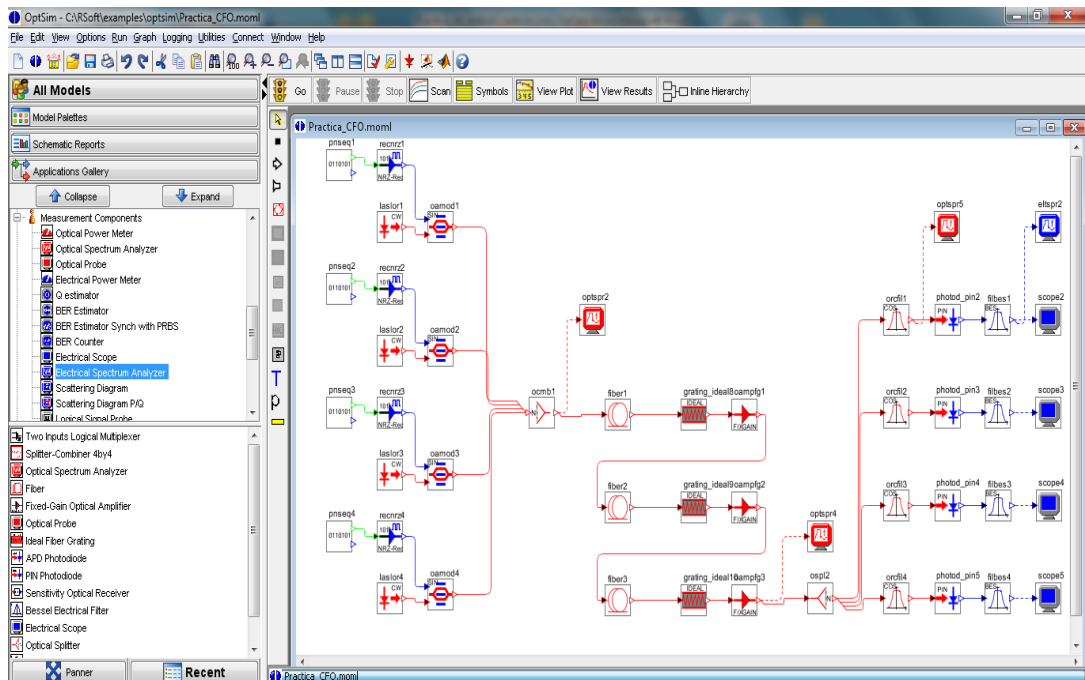


FIGURA 2.1: Entorno gráfico del Software de Simulación OPTISIM.

2.1.2 OptiSystem

OptiSystem es un software de simulación de sistemas ópticos, posee una interface gráfica con una librería que supera los 300 componentes, con la posibilidad de personalizarlo, con herramientas de visualización y post-procesamiento, para un ambiente interactivo. Las características más representativas del software son:

- Diseño y Simulación de Sistemas Ópticos de nueva generación.
- Herramientas de análisis como:
 - Diagramas de constelaciones
 - Diagramas de Ojo
 - BER (Bit Error Rate)
 - Factor Q, etc.
- Simulación de Fenómenos como:
 - Modulación Auto-fase

- Modulación cruzada de fase
- Mezcla de 4 longitudes de onda

El software tiene licencia y su versión de evaluación es de fácil descarga e instalación, por lo que permite simulaciones por un periodo de evaluación de 30 días. En la figura 2.2, se muestra la interfaz gráfica del entorno del software de simulación.⁵

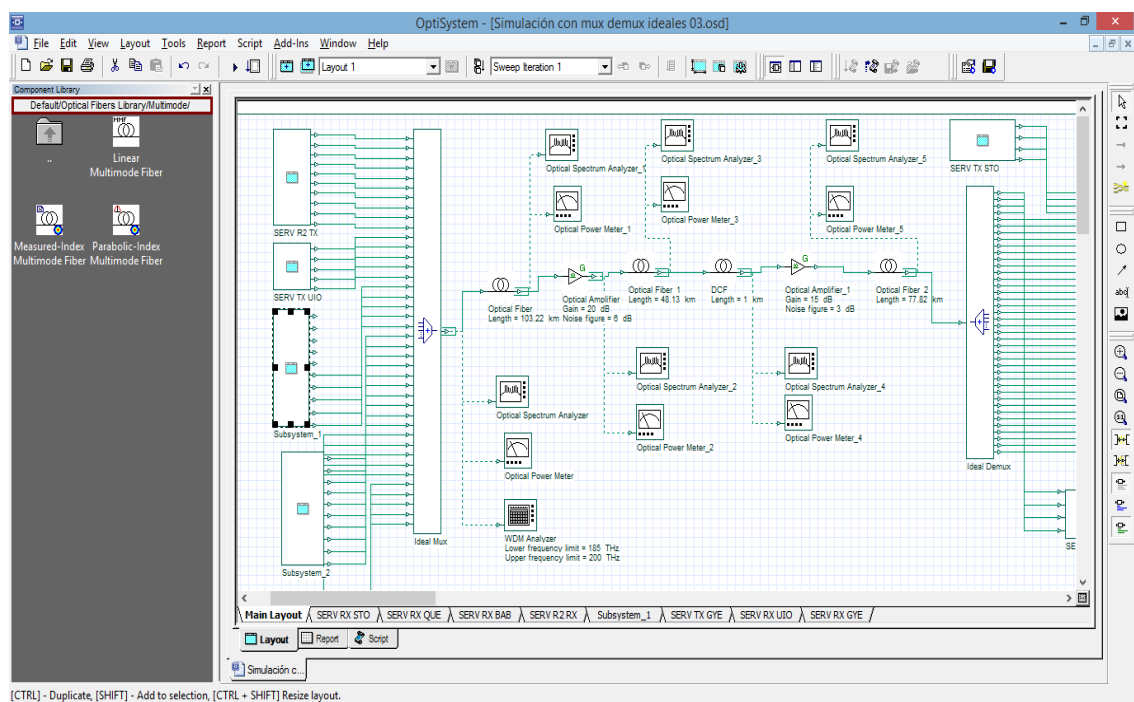


FIGURA 2.2: Entorno gráfico del Software de Simulación OPTISYSTEM.

2.1.3 Elección de software de simulación

Después de revisar los principales atributos de los programas para simulación de sistemas ópticos, los mismos que permitirán la simulación de la red, en la tabla 2.1, se muestra una comparación de ambas aplicaciones, llegando a la conclusión de sus marcadas similitudes.

⁵ <http://optiwave.com/resources/system-requirements/minimum-and-recommended/>

	LICENCIA	OBTENCIÓN APLICACIÓN	INTEFAZ	REQUERIMIENTOS HARDWARE	COMPONENTES LIBRERÍA	INTEGRACIÓN HERRAMIENTAS
OPTSIM	SI	DIFICIL	GRÁFICA	BAJO	ALTO	SI
OPTISYSTEM	SI	MODERADA	GRÁFICA	MEDIO	ALTO	SI

TABLA 2.1.- Tabla comparativa entre Optsim y OptiSystem.

Sin embargo, al ser software propietario, se requiere la adquisición de la licencia del mismo. Pero sus costos son muy elevado, por lo que se opta por el software OptiSystem, debido a que su periodo de evaluación de 30 días, y a diferencia de Optsim, no requiere de dispositivos adicionales para ingresar a su interfaz gráfica y su proceso de descarga es mucho más simple.

2.1.4 Introducción al software de simulación

Seleccionado el software de simulación, por sus características y disposiciones, es necesario revisar los requerimientos mínimos de hardware previstos para la instalación y posterior funcionamiento del programa. En la tabla 2.12, se puede apreciar los requerimientos de hardware mínimos necesarios para la instalación del programa.

SISTEMA OPERATIVO (64-bits)	PROCESADOR	ESPACIO LIBRE EN DISCO DURO	MEMORIA RAM
Windows 7 Windows 8	Intel Multi-core AMD 64 Multi-core	500MB	1024 MB

TABLA 2.2.- Tabla de requerimientos mínimos de hardware para OptiSystem.6

Para la simulación inicial, el simulador fue instalado en un computador con procesador AMD de doble núcleo y su desempeño era aceptable, sin embargo

⁶ <http://optiwave.com/resources/system-requirements/minimum-and-recommended/>

mientras la simulación avanzaba y se incrementaban elementos, el computador comenzó a tener problemas lentitud al ejecutar las simulaciones.

Por lo que fue necesario instalarlo en un computador con mayor cantidad de núcleos, para este caso particular en un computador con Intel Core i5.

2.1.4.1 Interfaz gráfica

El simulador posee una interfaz gráfica GUI, para ingresar al mismo, se debe dar doble clic sobre el ícono creado en el escritorio, después del proceso de instalación, o a su vez buscando en el menú inicio en todos los programas. En la figura 2.3, se puede apreciar la interfaz gráfica con una barra de herramientas y columna de componentes de librería.

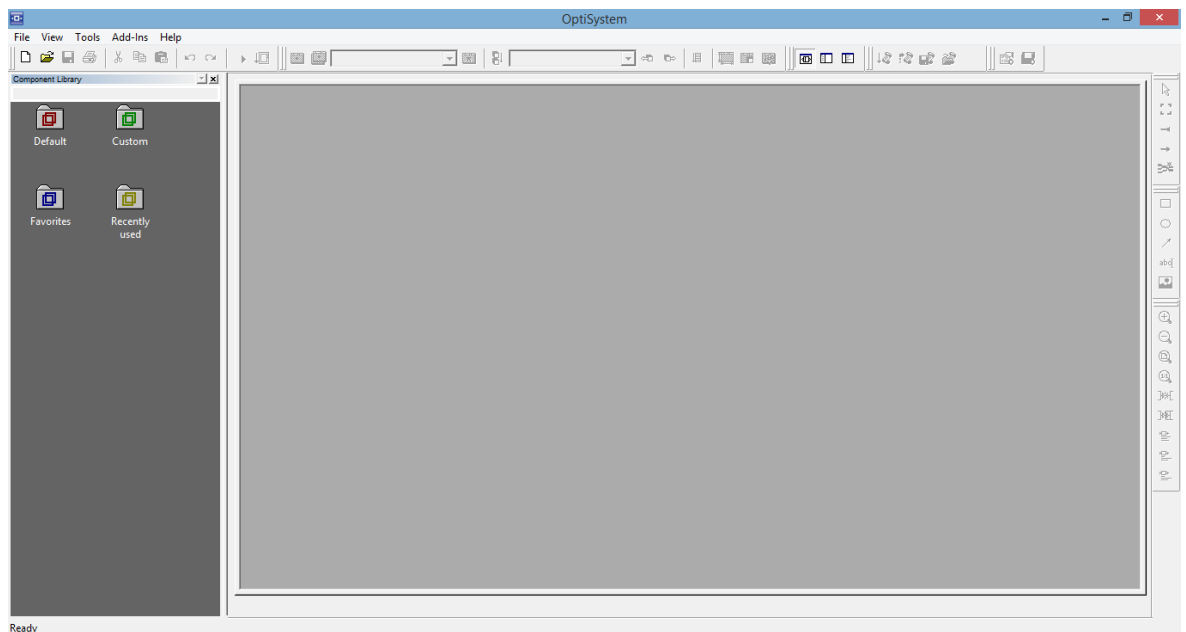


FIGURA 2.3: Interfaz gráfica de OptiSystem.

Dentro del entorno gráfico, se puede apreciar las siguientes secciones:

- Barra de Menú. En esta barra se encuentra el menú de archivo, vista, herramientas, ayuda entre otras.
- Barra de Herramientas. Se despliegan botones en los cuales se puede citar nuevo, abrir, pegar cortar, paso anterior, siguiente, tamaño de la hoja de trabajos, herramientas de dibujo de movimientos de elementos, entre otras. Cabe mencionar que se encuentra una barra de herramientas horizontal superior y vertical lateral derecha.
- Librería de Componentes. En esta barra se encuentra todos los elementos que compone la librería de componentes, como transmisores, receptores, amplificadores, fibras, filtros, elementos pasivos, instrumentos de medida, entre otros.
- Editor del esquema (Layout). Es el espacio dentro de la interfaz, designada para colocar los diferentes componentes que intervendrán en la simulación.
 - Adicionalmente dentro de esta barra, pueden existir divisiones adicionales, en las que se puede las opciones de navegador del proyecto y descripción.

Para crear un proyecto nuevo, se debe ir a la barra de menú, a la opción archivo (File) y seleccionar en la menú desplegado, la opción Nuevo (New), o a su vez en la barra de herramientas, pulsar el botón con la misma descripción anterior.

En la figura 2.4, se muestran la opción de creación de un nuevo proyecto usando el menú de la barra de herramientas y en la figura 2.5, se puede apreciar el

método de creación de un nuevo proyecto utilizando el botón en la barra de herramientas.

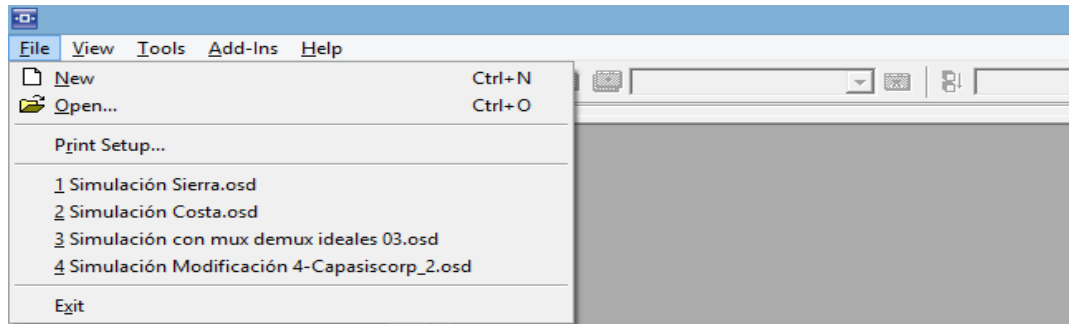


FIGURA 2.4: Creación de nuevo proyecto mediante el uso del menú de opciones.

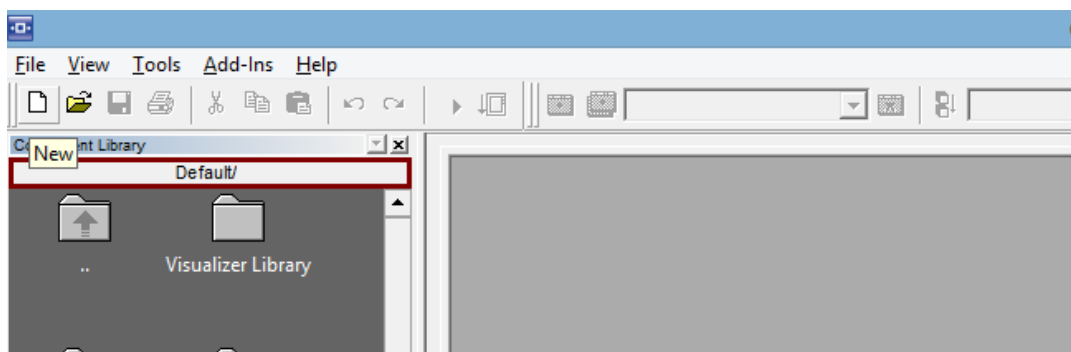


FIGURA 2.5: Creación de nuevo proyecto utilizando el botón “New”.

Para realizar el diseño y la simulación dentro del nuevo proyecto, se requiere desplazarse hacia la barra de librería de componentes y seleccionar, aquellos componentes necesarios para el proyecto.

Para acceder dichos componentes, se debe situar sobre la carpeta default, esta contiene de forma distribuida y ordenada por carpetas, grupos de componentes.

En la figura 2.6, se puede apreciar una muestra de las carpetas con grupos de componentes.

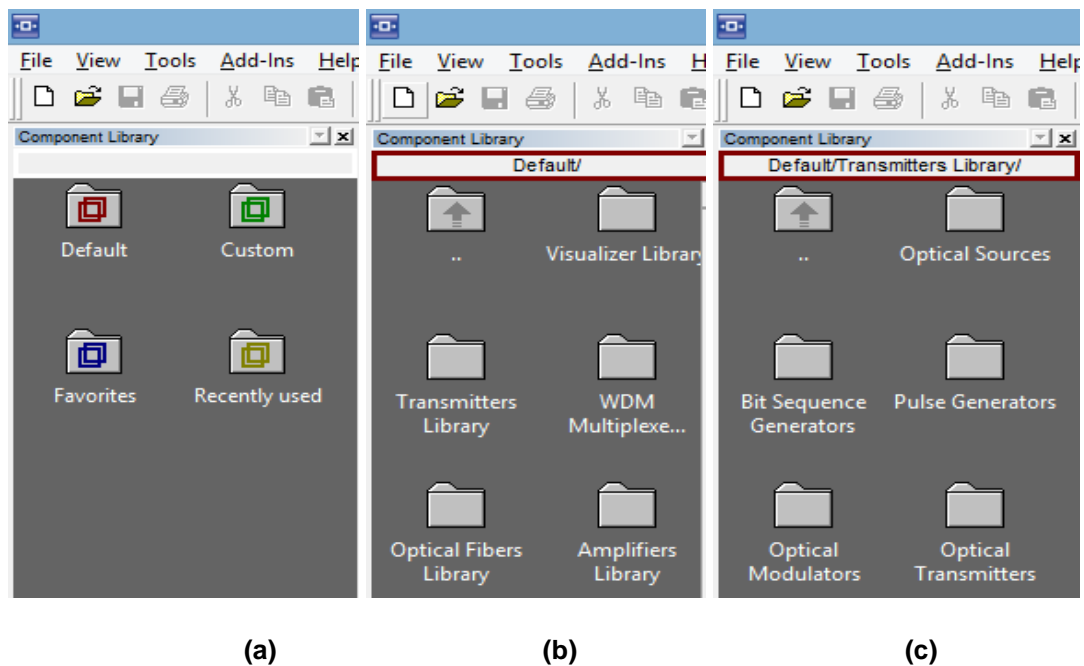


FIGURA 2.6: Agrupación de elementos por carpetas en OptiSystem.

Una vez situado en la carpeta donde se encuentran los componentes requeridos, presionando el botón izquierdo del ratón, proceda a seleccionar un componente y arrastrarlo hacia el editor del esquema, una vez situado sobre la posición correcta, suelte el botón, y el componente estará dentro del esquema, repita este proceso con los siguientes componentes.

En la figura 2.7, se observa la disposición de componentes dentro del editor de esquema. A partir de este conjunto de componentes se conformarán las diferentes etapas dentro de la simulación de la red.

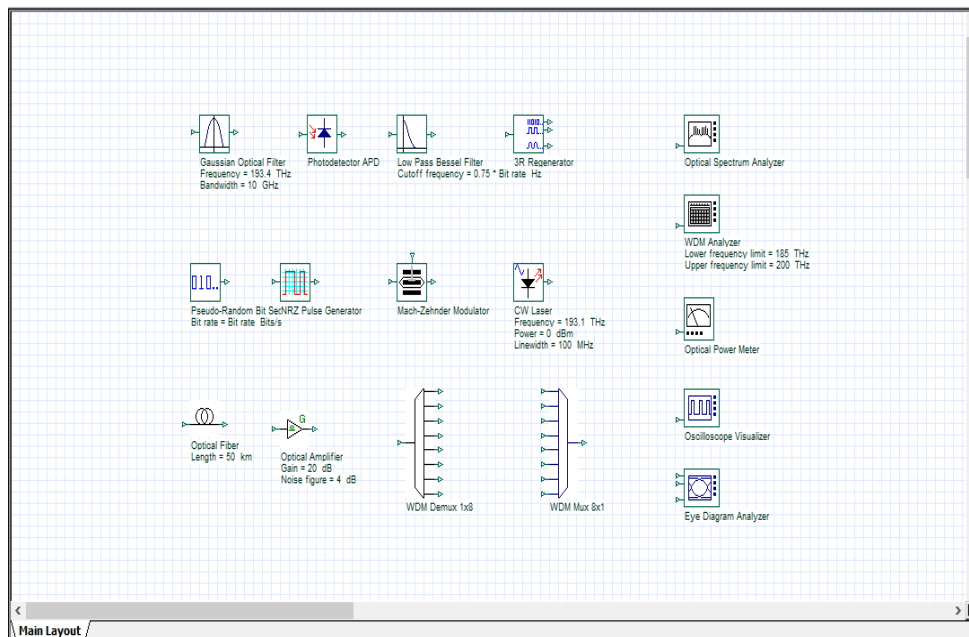


FIGURA 2.7: Elementos que serán utilizados para la simulación en OPTISYSTEM

Para establecer conexiones entre componentes, existen tres formas que ofrece el software:

- a) **Personalizada.-** Permite seleccionar la conexión entre puertos de los componentes seleccionados, también conocida como conexión manual, se sitúa con el mouse sobre el puerto de un componente, manteniendo presionado el botón izquierdo y desplazándolo hacia el puerto de destino.
- b) **Autoconnect on drop.-** Permite establecer una conexión automática cuando se arrastra un elemento hacia el editor de esquema, y al acercarlo a otro elemento que ya se encuentra en el editor.
- c) **Autoconnect on move.-** Al igual que el literal b, permite una conexión automática entre elementos, con la diferencia que la conexión se establece al mover elementos que ya se encuentra en el editor de esquema

Establecida las diferentes conexiones entre los elementos, es posible modificar los parámetros iniciales de cada elemento, esto se consigue dando doble clic sobre el elemento, y en la ventana de configuración se pueden realizar los cambios necesarios.

En la figura 2.8, se muestra la ventana de configuración de un diodo laser, dentro del editor de esquema.

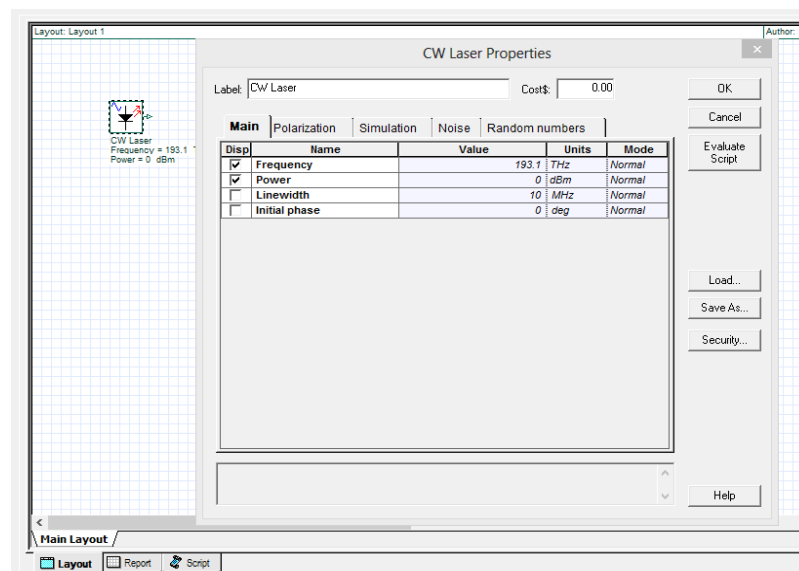


FIGURA 2.8: Ventana de configuración de elementos en OptiSystem.

Realizadas todas las configuraciones necesarias y establecidas las conexiones entre elementos, se procede a ejecutar la simulación, dentro del menú de herramientas, está disponible el botón Calculate, así también dentro de la opción archivo, se despliega un menú en el cual se encuentra la opción Calculate. En la figura 2.9 se observa las opciones que permiten ejecutar la simulación.

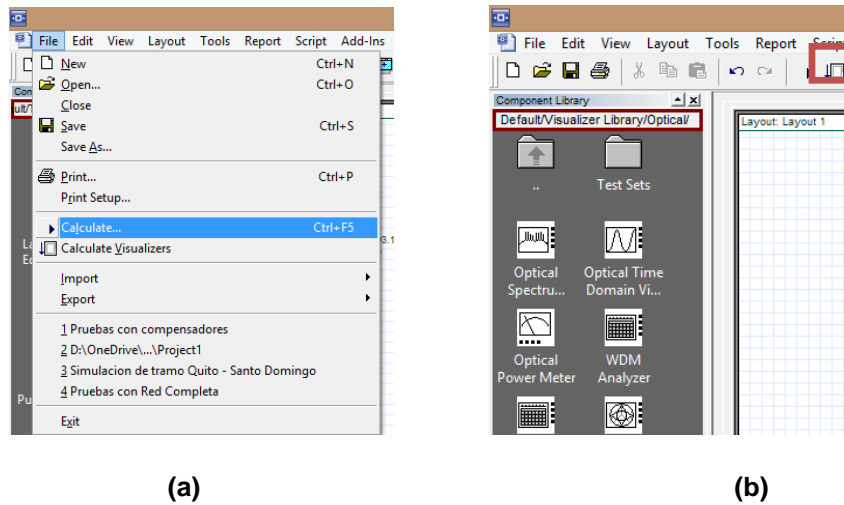


FIGURA 2.9: Opciones y botones para inicio de la simulación.

Al seleccionar cualquiera de las opciones para correr la simulación, aparece una ventana en la cual se hace un recuento y cálculos de los elementos que interviene dentro de la simulación. En la figura 2.10, se puede apreciar, la ventana que ejecuta la simulación con sus respectivos botones y opciones de simulación.

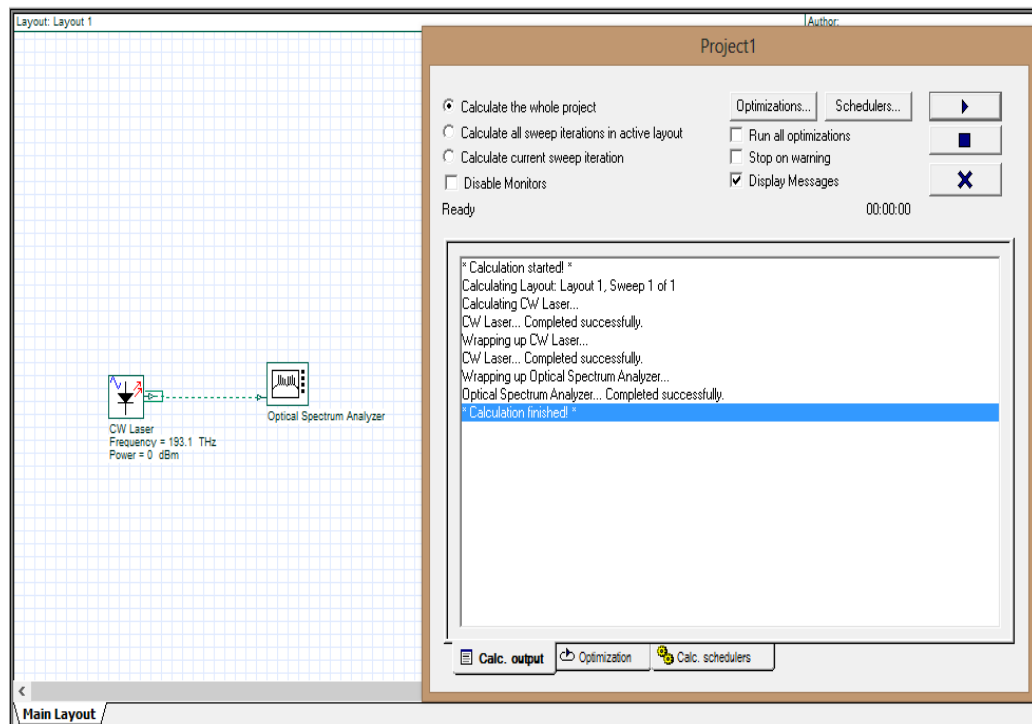


FIGURA 2.10: Ventana de ejecución de simulación.

2.2 ETAPA DE TRANSMISIÓN

Para la transmisión de servicios a través de DWDM, es necesario considerar varias etapas, entre ellas; reconocer el tipo de servicio a ser transmitido, tipo de transmisor, entre otras.

Cabe mencionar que cada lambda podrá transmitir diferentes servicios a distintas velocidades, se pueden usar diodos LED o Láser para la transmisión, así también con el código de línea que manejará la información enviada.

En OptiSystem se dispone de varios recursos entre los que se cuenta con generadores pseudo-aleatorios de secuencia de bits, que permiten insertar una señal binaria de forma aleatoria de los unos u ceros, esto se lo puede interpretar como un tren de pulsos sin ningún tipo de codificación, esta herramienta se la encuentra dentro de los transmisores como un anexo de generadores eléctricos. A esta etapa inicial se la atribuye al puerto de ingreso de la información, ya sea esta SDH, SONET o Gigabit Ethernet.

En la siguiente etapa se define el tipo de codificación de la información (código de línea), para la simulación se adopta la codificación NRZ (Non Return to Zero), una de las más utilizadas en DWDM, cuyo fin es dar un código para la transmisión de datos, tomando la serie aleatoria de la etapa anterior.

En la figura 2.11, se muestra la etapa de generación de secuencia de bits, seguida de la etapa de generación de pulso.

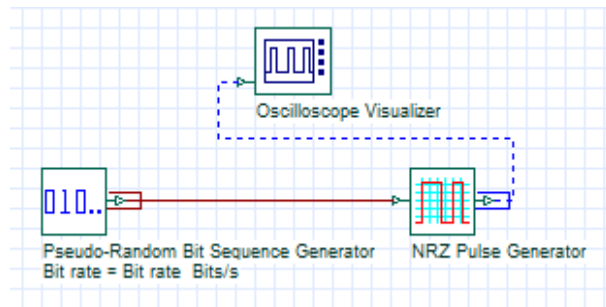


FIGURA 2.11: Generador de Secuencia de bits y Generador de Pulso.

Por la parte óptica se debe precisar cuál dispositivo permitirá la transmisión de información a largas distancias, por medio de fibra óptica. Para las aplicaciones de DWDM comúnmente se utilizan diodos láser, para lo cual dentro de las librerías de transmisión, se puede escoger entre varias fuentes. En la figura 2.12, se muestra el láser transmisor con sus parámetros iniciales de potencia de transmisión y de frecuencia.

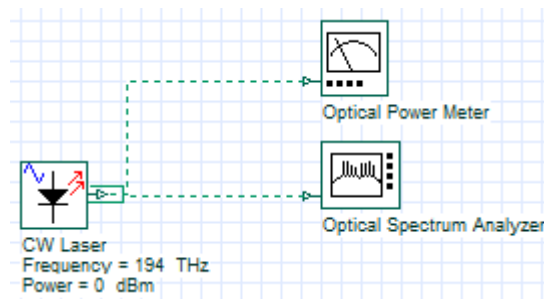


FIGURA 2.12: Diodo Láser Transmisor.

Para esta simulación se usa un diodo láser, en el cual se pueden configurar; entre las más importantes, la frecuencia de operación, la potencia de transmisión, la polarización, en la figura 2.13, se observa la ventana de configuración de los parámetros de los diodos laser.

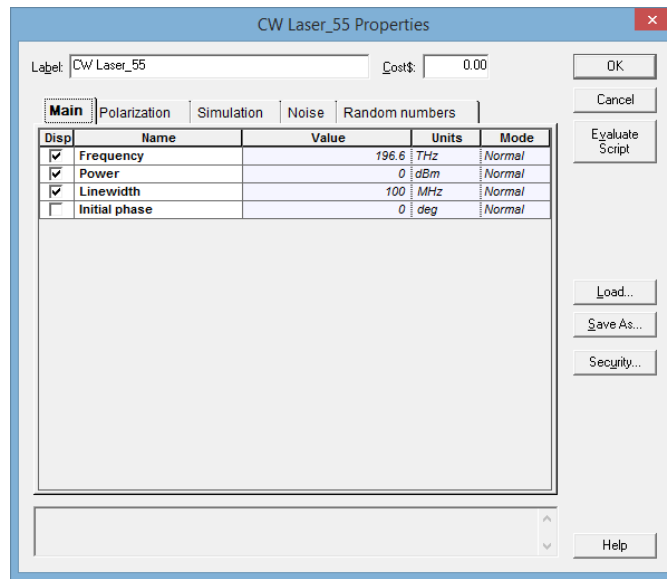


FIGURA 2.13: Ventana de configuración del diodo laser.

Se cuenta con la etapa eléctrica y la etapa óptica, pero es necesario que la información en forma eléctrica; viaje a través de la fibra óptica como luz. Para esto el simulador provee de moduladores electro-ópticos, para el caso de estudio se usará un modulador Mach-Zehnder, este dispositivo permite modular la intensidad de la luz láser en respuesta a una señal eléctrica aplicada mediante un circuito de acondicionamiento. En la figura 2.14 se muestra como la señal eléctrica y óptica, ingresan al modulador y a la salida de este; entrega una señal óptica.

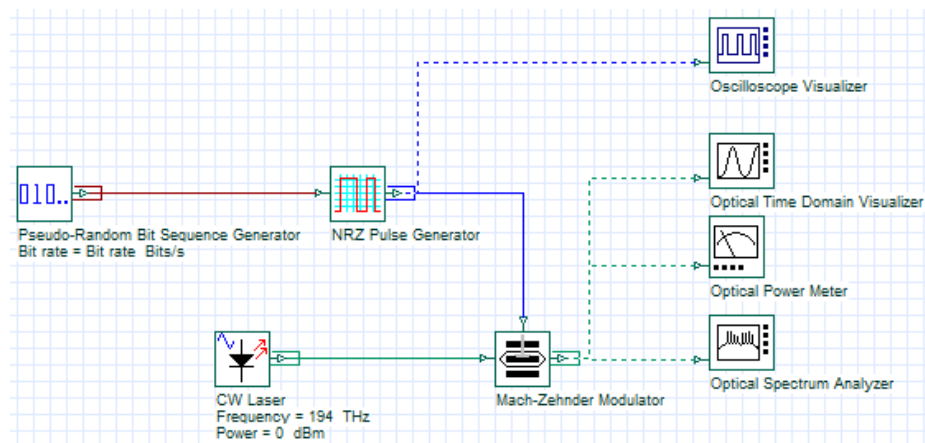


FIGURA 2.14: Conformación del transmisor.

2.3 MULTIPLEXACIÓN Y DEMULTIPLEXACIÓN DE SEÑALES

2.3.1 Multiplexor

Una vez obtenidas las diferentes longitudes de onda que llevan los servicios de datos, es necesario encapsularlas y enviarlas a través de una sola fibra óptica. A este proceso se lo conoce como multiplexación, y consiste en tomar la información de todas las entradas y utilizando tecnologías como TDM (Time Division Multiplexing), FDM (Frequency Division Multiplexing), CDM (Code Division Multiplexing), enviar por una única salida toda la información hasta su destino remoto. Sin embargo DWDM utiliza una Multiplexación por división de longitud de onda denso, eso quiere decir que no se multiplexa por división de tiempo, frecuencia o código, enviando por una única fibra óptica todas las longitudes de onda que se encuentran a la entrada.

Dentro del simulador se encunarán diferentes tipos multiplexores DWDM, algunos con un número definido de entradas y rangos de frecuencia, así también otros totalmente configurables, como la simulación del primer escenario tiene una capacidad de 40 lambdas, se realiza la respectiva configuración de parámetros necesarios para que opere bajo estas condiciones. En la figura 2.15 se observan los diferentes tipos de multiplexores DWDM disponibles en el simulador.

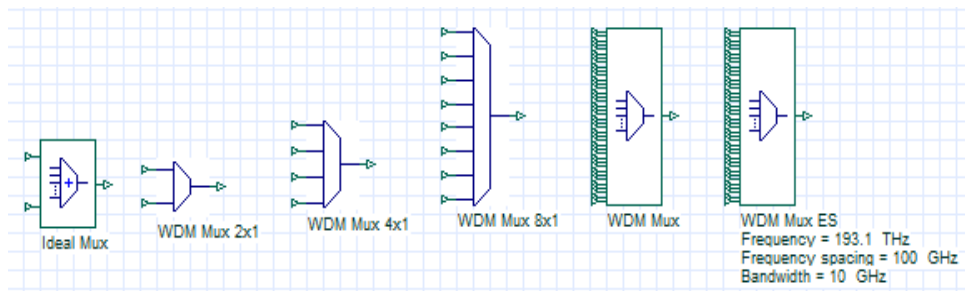


FIGURA 2.15: Tipos de Multiplexores en OptiSystem.

Se conectan los 40 transmisores, con una λ asignada a cada uno; hacia las entradas del multiplexor, el multiplexor asigna una entrada con una λ . A la salida del multiplexor se colocan instrumentos de medida, en donde se podrá observar los niveles de potencia de cada λ , su espectro de frecuencia y la potencia total transmitida. En la figura 2.16, se muestran las conexiones desde los transmisores hacia las entradas del multiplexor y la conexión de la salida del multiplexor hacia los instrumentos de medida.

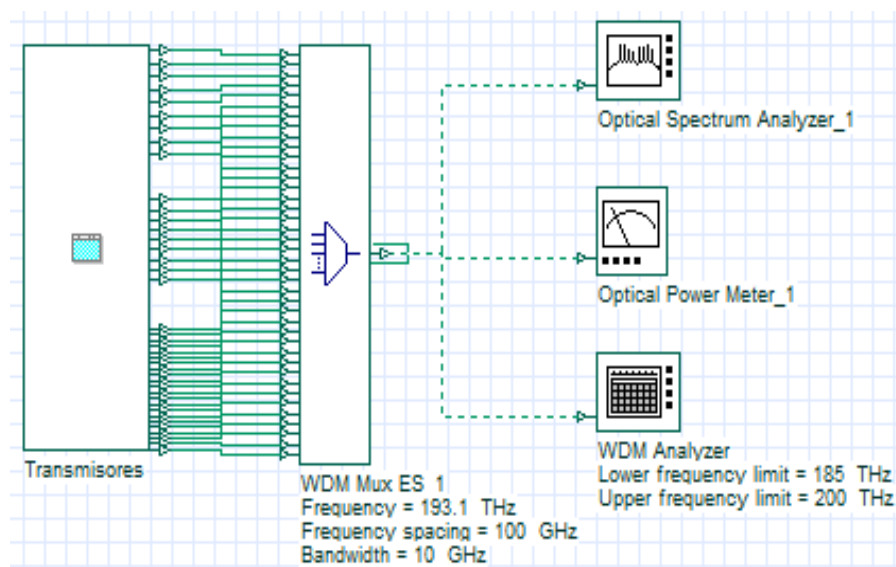


FIGURA 2.16: Integración de la etapa de transmisión y el multiplexor.

2.3.2 Demultiplexor

De forma contraria, el demultiplexor permite tomar a su entrada una única conexión física de fibra óptica y a sus salidas se obtiene las longitudes de onda separadas y asignadas, de tal forma que se constituyen canales independientes, y cada canal con un nivel de potencia de recepción.

El simulador cuenta con varias opciones de dispositivos de demultiplexación. Estos demultiplexores van desde un modelo ideal, pasando por configuraciones 1 a

2, 4, 8 y personalizado. En la figura 2.17 se muestran los diferentes tipos de demultiplexores con los que cuenta el simulador.

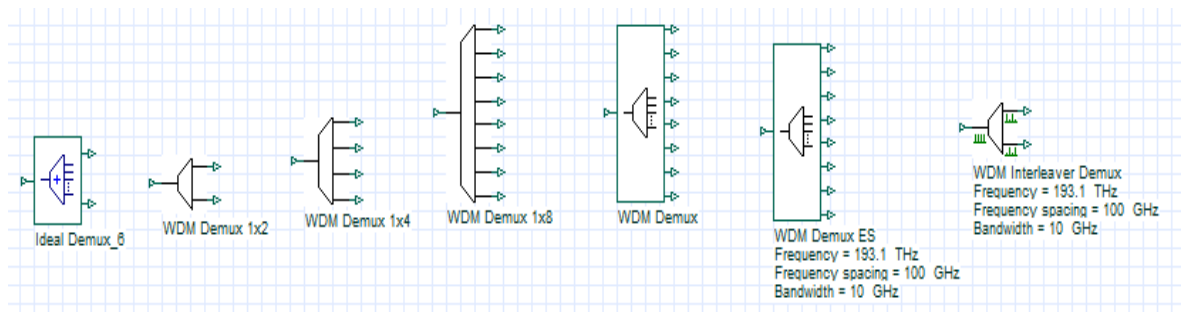


FIGURA 2.17: Tipos de Demultiplexores en OptiSystem.

La señal óptica que ingresa al demultiplexor, entregará 40 salidas con las diferentes longitudes de onda transmitidas por el multiplexor en la estación remota.

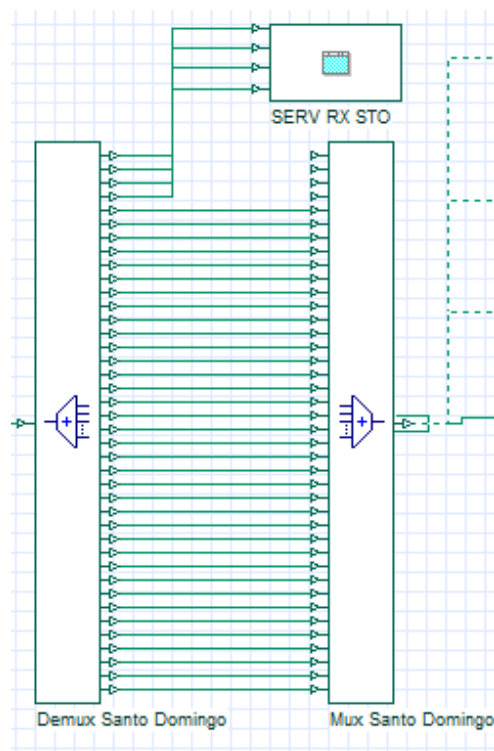


FIGURA 2.18: Crossconexiones entre Demux y Mux, y recepción de lambdas.

De acuerdo al número de longitudes de onda asignadas para cada estación dentro de la red, éstas deben entrar a la etapa de recepción, en donde se extraerá su información, mientras que las longitudes de onda que no corresponden a dicha estación, tendrán que cruzar hacia las posiciones dispuestas con igual orden y numeración al multiplexor para ser retransmitidas, este proceso se lo conoce como conexión cruzada (cross connetion), y se lo realiza de forma manual mediante el uso de patchcords de fibra óptica.

En la figura 2.18, se puede apreciar las longitudes de onda asignadas a una estación determinada, que son receptadas para su procesamiento de información y el bloque que debe cruzar hacia el multiplexor para su retransmisión.

Cabe mencionar, que las longitudes de onda que pasan al proceso de recepción, deben posteriormente transmitir la nueva información que se genera en dicha estación, estos canales deben conectarse en el mismo orden en el cual fueron recibidas en la etapa anterior, dentro de las posiciones libres del multiplexor.

2.4 FIBRA ÓPTICA, AMPLIFICADORES Y COMPENSADORES

Para establecer conexión entre los dispositivos multiplexor y de multiplexor, se recurre el uso de un medio de transmisión guiado, al utilizar señales luminosas es imprescindible recurrir a la fibra óptica. Ya sea para crear un enlace entre equipos de estaciones distantes, o para cruzar lambdas entre dispositivos.

Así también hay que recurrir a mecanismos para optimizar que la señal llegue sin deformaciones y con niveles de potencia adecuados, para esto es necesario el uso de amplificadores, atenuadores y compensadores de dispersión.

2.4.1 Fibra óptica

Dependiendo de su uso, existen diferentes recomendaciones instauradas por la ITU, para estandarizar la fibra óptica, dado que son enlaces de larga distancia se recomienda utilizar la fibra G.655, correspondiente a una fibra monomodo, también por sus características de atenuación por kilómetro, dispersión cromática, entre otras.

Existen empresas que realizan bajo estos estándares varias contribuciones para el mejoramiento de la fibra, para estos enlaces el proyecto contempla el uso del estándar G.655 LEAF, elaborada por la empresa Corning, la hoja de datos se encuentra en el anexo 1. El simulador ofrece algunos tipos de fibra óptica, entre los que se pueden citar: para monomodo, fibra óptica para DWDM, CWDM y Bidireccional. Para multimodo, Lineal, Parabólica y Medida. En la figura 2,19, se puede observar los tipos de fibra óptica monomodo, y en la figura 2,20, se muestran los tipos de fibras ópticas multimodo.

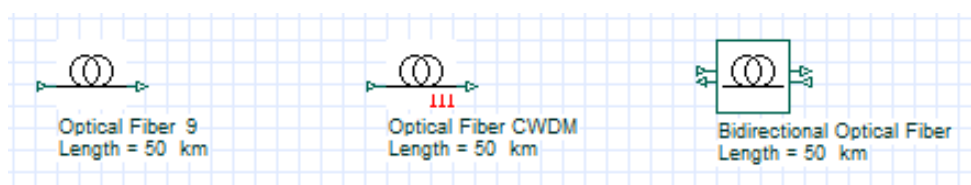


FIGURA 2.19: Tipos de Fibra Óptica Monomodo.

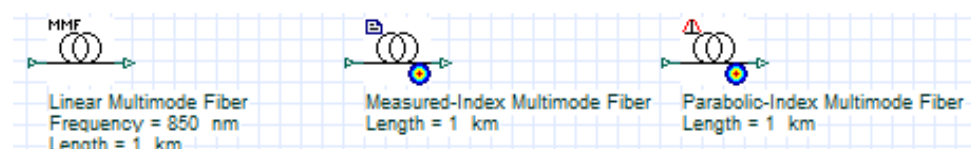


FIGURA 2.20: Tipos de Fibra Óptica Multimodo.

Para la simulación se opta por la fibra óptica DWDM, multimodo con características de 0,2 dB/km, con una dispersión cromática de 4 ps/nm km. En la figura 2.21, se observa los parámetros de configuración correspondientes a longitud

de onda referencial, esto quiere decir a que ventana de operación o banda se encuentra la fibra óptica, la longitud total que tiene la fibra óptica, la atenuación por kilómetro, entre otras.

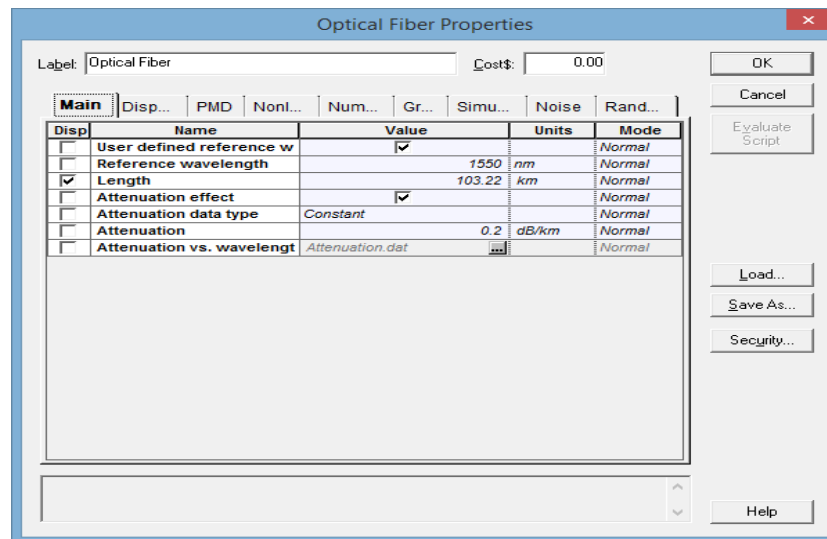


FIGURA 2.21: Parámetros de configuración de fibra óptica.

En la figura 2.22, se observa los parámetros de configuración correspondientes a dispersión cromática.

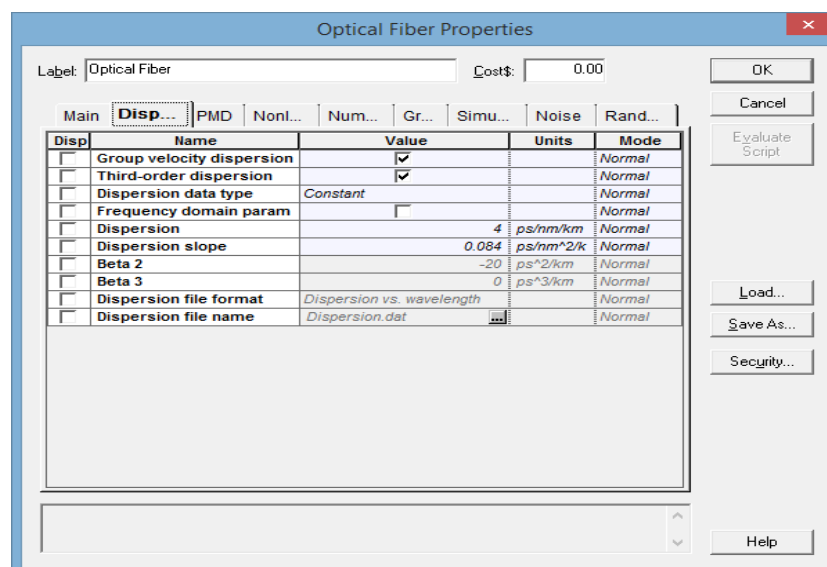


FIGURA 2.22: Parámetros de configuración de fibra óptica, Dispersión

En la figura 2.23, se observa los parámetros de configuración correspondientes a Dispersión de Modo Polarizado, y retardo de grupo.

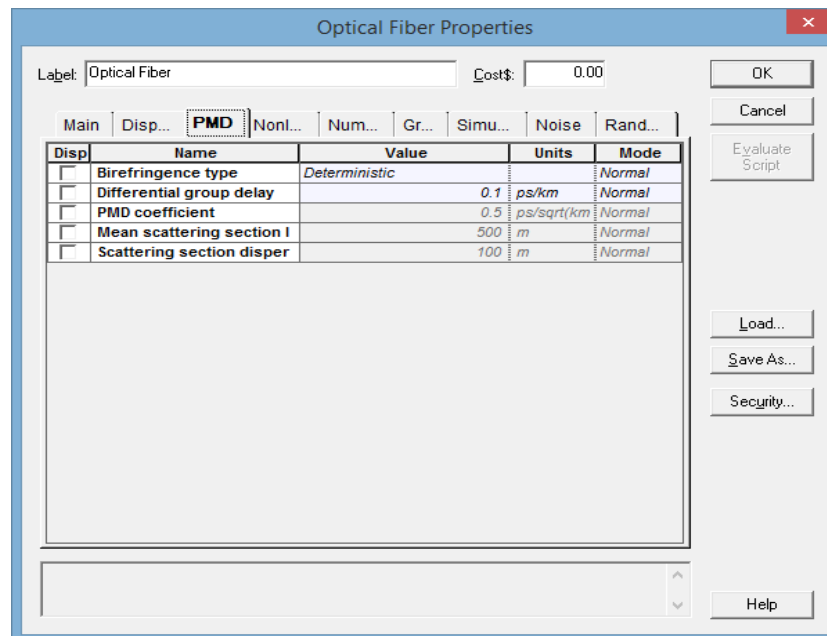


FIGURA 2.23: Parámetros de configuración de fibra óptica, PMD

2.4.2 Amplificadores

Un enlace óptico está limitado por la distancia, mientras la señal se propaga, esta se atenúa, kilómetro a kilómetro, por lo que llegará a un punto en la que la señal no tendrá la suficiente potencia para que el equipo pueda establecer una conexión. Por lo general los equipos receptores de fibra óptica, tiene un umbral de potencia de recepción mínimo para intentar la conexión, esto también se lo conoce como sensibilidad del receptor y los valores oscilan entre -30 dBm y -38 dBm, dependiendo del equipo y su fabricante.

Para entregar una señal con un nivel de potencia adecuado, a lo largo del enlace, se implementan amplificadores ópticos, que se encargan de aplicar una ganancia la señal transmitida, en una determinada distancia de propagación,

obteniendo una señal de mayor potencia y asegurando la continuidad del enlace. Existen diferentes tipos de amplificadores, entre ellos; el simulador ofrece los siguientes:

- EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier).
- RAMAN (Efecto Raman, SRS Stimulated Raman Scattering).
- SOA (Semiconductor Optical Amplifiers)

En la figura 2,24, se puede apreciar una muestra de los amplificadores de señal de fibra óptica que posee el simulador.

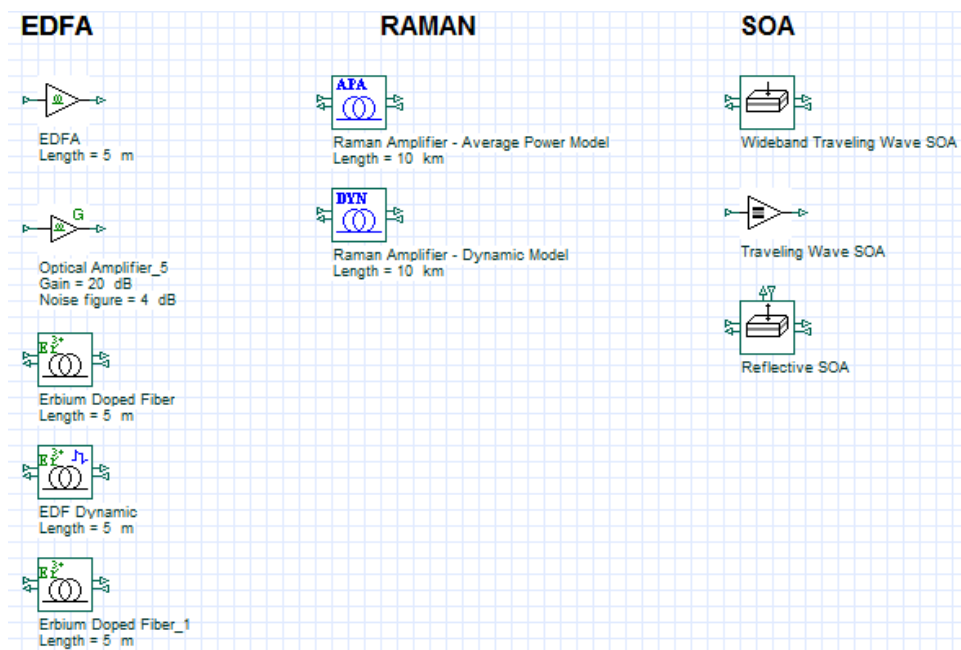


FIGURA 2.24: Tipos de Amplificador, disponibles en el simulador.

Los amplificadores seleccionados para la simulación es el tipo EDFA, los mismos que se encuentran dispuestos en la red actualmente, en la figura 2.25, se muestra la ventana de parámetros del amplificador, en la que se pueden realizar modificaciones.

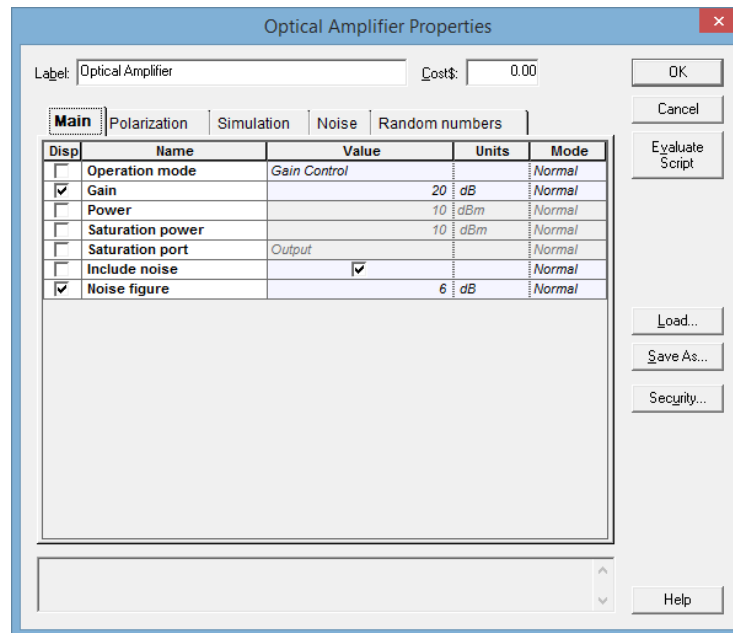


FIGURA 2.25: Parámetros de Amplificador de Ganancia EDFA.

2.4.3 Compensadores de dispersión

La señal óptica propagada, tiende a atenuarse directamente con la longitud que tiene que recorrer la señal, esto no se constituye en el único efecto, también la señal se pierde su forma, se ensancha y este ensanchamiento, provoca que la información llegue al receptor con errores, debido a un símbolo ensanchado que interfiere a sus vecinos. A este fenómeno se lo conoce como dispersión cromática, y en los enlaces de mayor distancia, sus efectos son más evidentes.

El simulador maneja una gamma de compensadores de dispersión, sin embargo dentro de la versión de OptiSystem, estos compensadores están orientados a sistemas simples de una sola longitud de onda, siendo no compatible con el esquema de simulación, a cuarenta longitudes de onda.

En la figura 2.26, se aprecian los diferentes compensadores de dispersión que maneja el simulador.

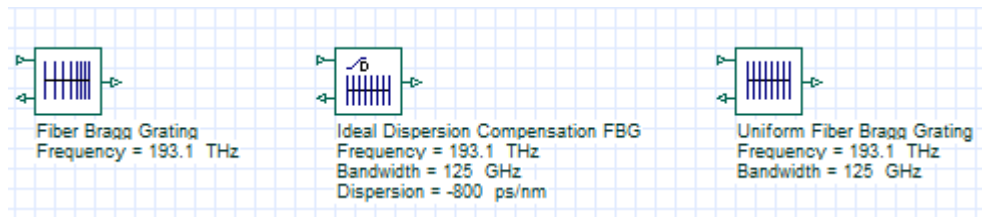


FIGURA 2.26: Tipos de Compensadores de Dispersión, disponibles en el simulador.

Existe un arreglo que permite realizar esta compensación de dispersión, para enlace WDM, esto consisten en insertar dentro de cualquier tramo de la fibra óptica, una segunda fibra en serie, solo que está tendrá una distancia menor y un valor asignado de dispersión cromática negativo, provocando el efecto de compensación dentro del enlace óptico.

Para lo cual se recurre al ancho de banda, medida a -3 dB de la potencia máxima en cualquier longitud de onda transmitida, también conocido como ancho espectral, es común encontrar esta información dentro de la hoja de datos del láser. Disponible el valor de ancho de banda, se aplica la siguiente expresión:

$$\Delta T = M_{\lambda} * L * \Delta_{\lambda} \quad (2.1)$$

Donde:

ΔT Ensanchamiento del pulso en ps

M_{λ} Dispersión cromática en $\frac{ps}{nm * Km}$

L Longitud de la fibra óptica en Km

Δ_{λ} Ancho espectral del medio emisor en nm

De las características de la fibra óptica G.655LEAF, se obtiene que la dispersión cromática que maneja es de $4 \frac{ps}{nm \cdot Km}$; la longitud del enlace es de 231 km; y el ancho espectral del emisor es de 8 pm, el ensanchamiento del pulso es:

$$\Delta T = M_{\lambda} * L * \Delta_{\lambda}$$

$$\Delta T = 4 \frac{ps}{nm * Km} * 231Km * 0,008nm$$

$$\Delta T = 7,40ps$$

Si se tiene un valor general de ancho espectral sugerido de 10 pm, con una longitud de fibra óptica de 1Km, se puede deducir que la dispersión cromática, a ser compensada es:

$$M_{\lambda} = \frac{\Delta T}{L * \Delta_{\lambda}} \quad (2.2)$$

$$M_{\lambda} = \frac{7,40ps}{1Km * 0,01nm}$$

$$M_{\lambda} = 740 \frac{ps}{nm * Km}$$

Por consiguiente, la compensación que se requiere para este tramo de fibra es de $740 \frac{ps}{nm \cdot Km}$ a un kilómetro. En la figura 2,27, se observa cómo se realiza la configuración de la dispersión cromática, dentro de la fibra óptica que realizará dicha función.

Esto será aplicado en los enlaces de mayor longitud, dentro de la red DWDM, tanto en ruta Costa como en la ruta de Sierra.

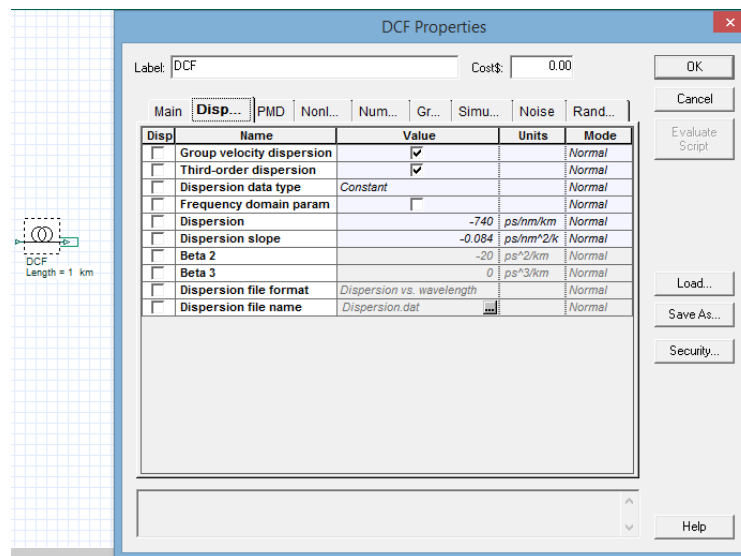


FIGURA 2.27: Parámetros de Compensador de Dispersión Cromática.

2.5 ETAPA DE RECEPCIÓN

Si bien el demultiplexor toma la señal que viene desde el multiplexor remoto, con todas las longitudes de onda por una única fibra óptica, y extrae dichas longitudes de onda, conformando canales.

Es necesario recuperar la información que cada lambda lleva, por lo que se requiere un receptor, compuesto por diferentes dispositivos. La longitud de onda extraída, debe pasar por una etapa de filtrado para ubicar la frecuencia a la que trabaja dicho canal, el simulador ofrece diferentes tipos de filtros ópticos, para fines de la simulación se opta por un filtro gaussiano, configurado con las diferentes parámetros provenientes de las longitudes de onda. En la figura 2.28, se puede observar el elemento de filtro gaussiano en el editor de esquema, junto a la ventana de parámetros del mismo.

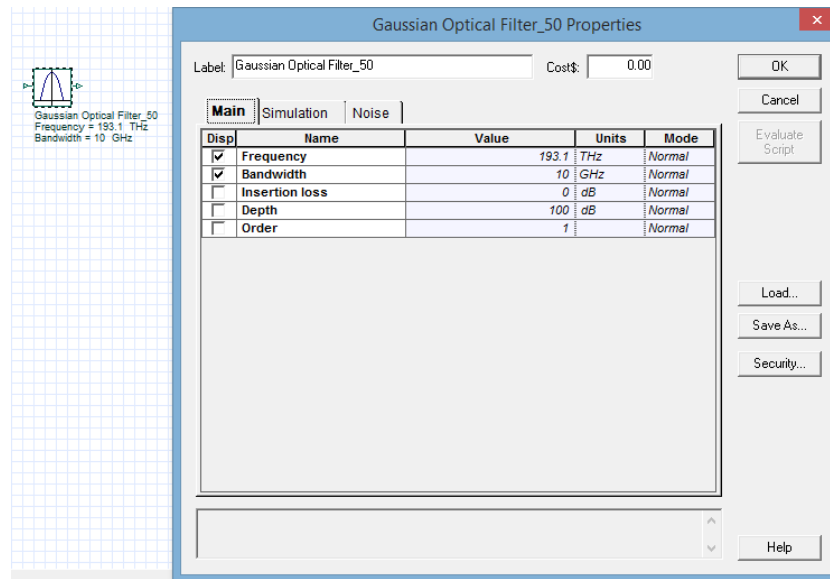


FIGURA 2.28: Parámetros de Filtro óptico gaussiano.

Filtrada la señal y con la frecuencia adecuada, es detectada por un fotodiodo, para este caso en particular se utilizan fotodiodos APD (Avalanche Photodiode), por sus características de mayor sensibilidad y tolerancia a diferentes niveles de temperatura, cabe recalcar que es el fotodiodo que se utiliza generalmente en enlaces DWDM.

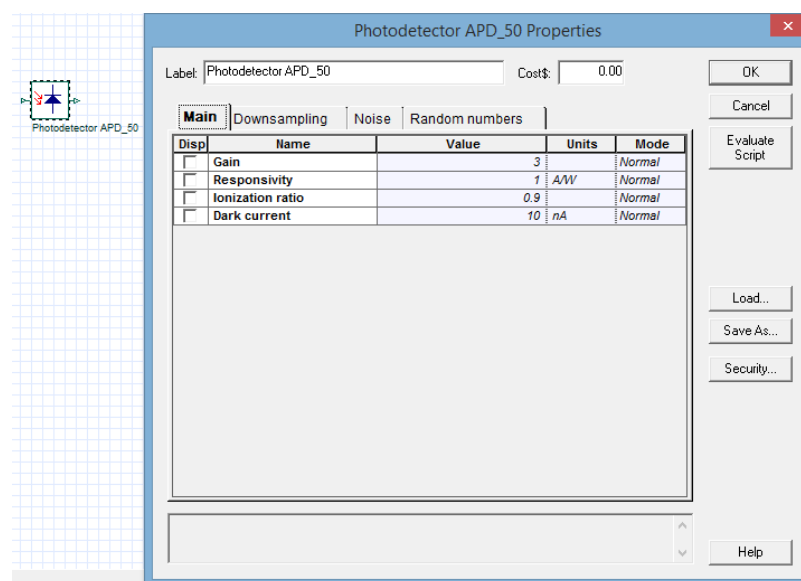


FIGURA 2.29: Parámetros de Fotodetector (Fotodiodo) APD.

En la figura 2.29, se muestra el elemento de fotodiodo APD y la ventana de configuración del fotodiodo, donde se encuentran los parámetros de responsividad y ganancia.

Una vez convertida la señal óptica en señal eléctrica por el fotodiodo, continua hacia una nueva etapa de filtrado, la que se encarga de eliminar el ruido restante de las etapas anteriores. Para esto es necesario el uso de un filtro pasabajos, el mismo que está disponible en la carpeta de filtros.

Con una señal más depurada de ruido, se requiere regenerar la señal definitiva, por lo que se emplea un regenerado 3R (Regeneration, Reshaping & Reclocking), la primera parte corresponde a la regeneración o amplificación, la misma que se puede aplicar independientemente de la señal o la tasa de bits, sin embargo produce diafonía e introduce, constituyéndose en el nivel más básico de regeneración (Regeneración 1R).

Con el fin de suprimir la diafonía y el ruido, se aplica un esquema de regeneración 2G, que atañe a recuperación de la señal, que funciona de la misma manera para codificaciones NRZ como RZ, siendo transparente con la tasa de bits, con la diferencia que para WDM, se debe hacer la regeneración por cada una de las lambdas o canales. Y finalmente la regeneración 3R que consiste en re-sincronizar la señal a partir de una señal de reloj.

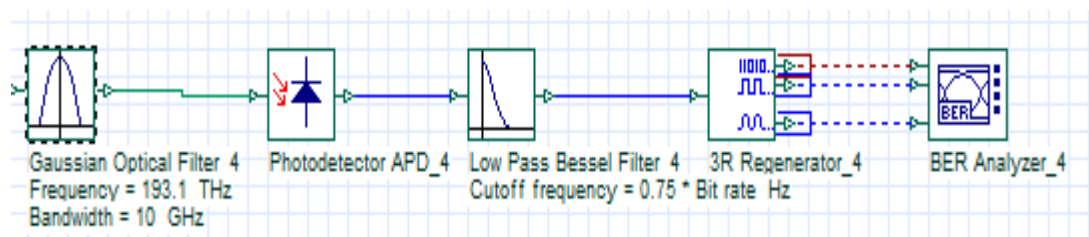


FIGURA 2.30: Diagrama de la Etapa de Recepción.

El elemento regenerador 3R, está disponible en la librería del simulador, y permite conectar a sus salidas los instrumentos de medida de BER y factor Q. En la figura 2.30 se puede apreciar un bloque de receptor, con todos los elementos necesarios para extraer la señal original.

2.6 CONFORMACIÓN DE ELEMENTOS DE RED

Un elemento de red NE (Network Element), es la representación de un equipo de telecomunicaciones dentro de un sistema de gestión, este sistema es un software con arquitectura cliente servidor, que administra, controla y gestiona los diferentes elementos en una red compuesta, ya sea de transporte o de acceso.

Las redes de transporte están conformadas por equipos de microondas PDH, SDH, MPLS o de equipos ópticos, SDH, SONET, CWDM, DWDM.

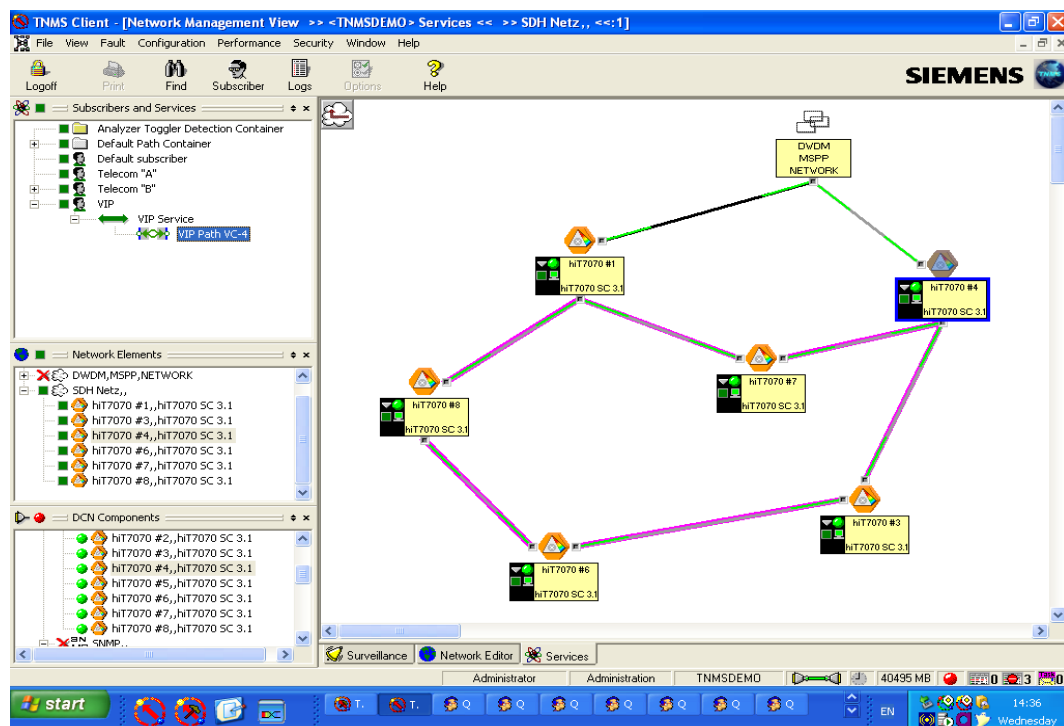


FIGURA 2.31: Pantalla de Gestor TNMS para multiplexores ópticos.

Fuente: TNMS_Jun09_V3_Como configurar el TNSM CORE_CDM

Para cumplir la administración de red, la comunicación debe establecerse entre cada elemento de red y su correspondiente sistema de administración, el término general la Red de Comunicación de Datos, de sus siglas en ingles DCN (Data Communication Network). Dentro de los canales de comunicación se destacan los DCC's (Data Communication Channels) o los RS-485. En la figura 2.31, se puede observar la pantalla de algunos elementos de red, correspondientes a equipos ópticos de la marca Siemens

Cada ícono representa a un elemento de red y a su vez está asignado a un equipo multiplexor óptico, las líneas que unen un elemento con otro, representan un enlace óptico. Al dar un clic sobre los iconos, se despliega un menú, el cual permite acceder al elemento para su administración. En la figura 2.32 se muestra el menú que se despliega del ícono correspondiente al NE seleccionado. Una vez que se inicia la gestión del elemento, aparece una nueva ventana en donde se muestra todo el equipamiento que posee el multiplexor, de igual forma los puertos disponibles, líneas de comunicación sin asignación, alarmas del equipos, logs de información , entre otras.

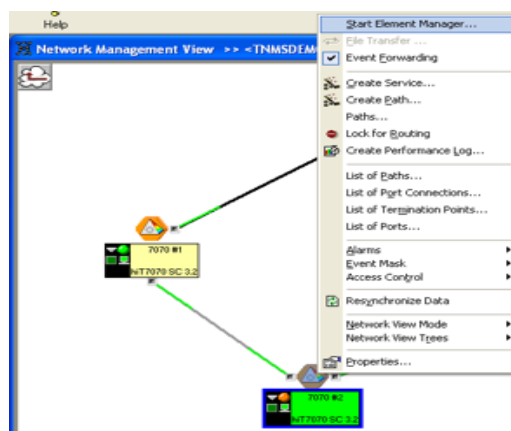


FIGURA 2.32: Pantalla de Gestor TNMS para multiplexores ópticos.

Fuente: TNMS_Jun09_V3_Como configurar el TNSM CORE_CDM

También permite la edición de servicios y la creación de nuevos servicios, monitoreo del estado de los enlaces ópticos, revisión de niveles de potencia y tasas de error. En la figura 2.33 se puede observar la pantalla equipamiento de un multiplexor óptico.

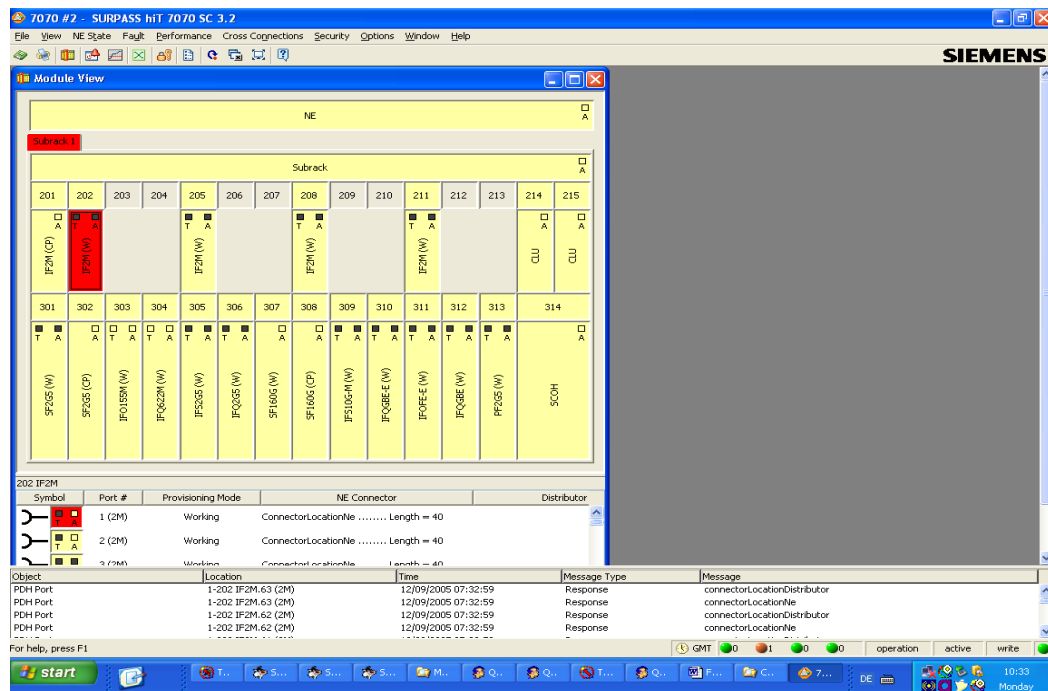


FIGURA 2.33: Pantalla de Gestor TNMS para multiplexores ópticos.

Fuente: TNMS_Jun09_V3_Como configurar el TNSM CORE_CDM

De misma forma, en la que se tiene un network element dentro del sistema de gestión, en el simulador se puede asemejar esta condición. Dentro de las características del software, permite el agrupamiento de elementos, para lo cual se han asociado en etapas y conservar una estructura modular de acceso a cada elemento que conformará el elemento de red. A continuación se detallan las etapas en las que se ha constituido el NE.

- Etapa de transmisión.- En esta etapa se han agrupado todos los transmisores, los mismos que se mencionan en el literal 2.2.

- Etapa de Recepción.- Los receptores de la red se los ha agrupado en un solo módulo.
- Etapa de multiplexación.- Esta etapa está formado por el multiplexor, demultiplexor y los cruces ópticos entre sí.

Con la creación del NE a partir de estas etapas, permite minimizar el espacio que ocupan los elementos dentro del simulador y da la posibilidad de realizar pruebas por bloques, evitando confusión entre lecturas en los dispositivos de medición. En la figura 2.34 se puede apreciar la conformación del network element.

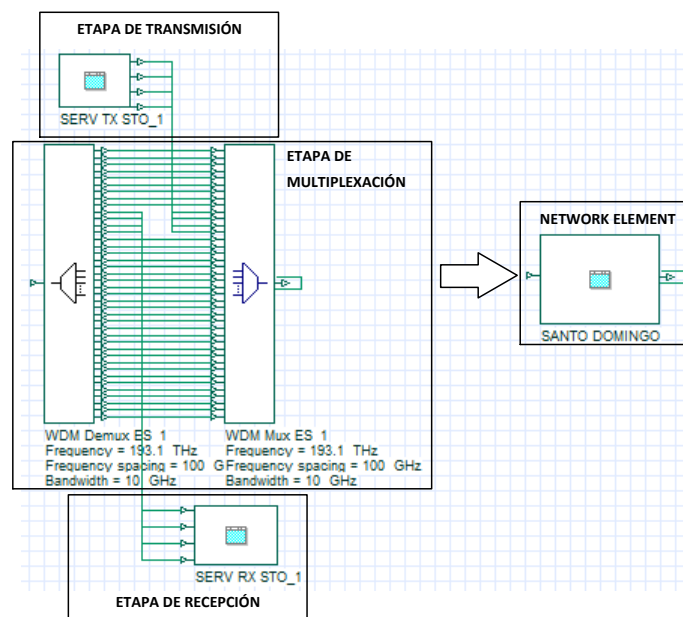


FIGURA 2.34: Network Element en la Red.

Este sistema de gestión toma la información proveniente de las canales de comunicación o cabeceras de tramas STM-1, usando protocolos TMN y SNMP, cada una de las configuraciones de los equipos, así también dentro del entorno gráfico, se muestra el equipamiento de tarjetas, asignación de puertos, niveles de medida como, potencia, BER, entre otras.

2.7 MONITOREO Y MEDICIÓN

Dentro de cualquier red de transmisiones, los equipos poseen puntos de monitoreo y medida, así también estos pueden ser revisados vía remota mediante la red de gestión. Es vital para la operación y mantenimiento de la red, que se verifique periódicamente el estado de la red, con el fin de detectar cualquier problema en el medio de transmisión, así como en el equipamiento.

Esto permite realizar un cronograma apropiado de mantenimiento preventivo y de solución de problemas, mejorando ostensiblemente la disponibilidad de la red y el desempeño de la misma. El simulador posee librerías con instrumentos de medida, con los que se puede verificar el funcionamiento de cada una de las etapas, para comprobar las diferentes señales que intervienen en la red. Dentro de los instrumentos de medida que se utilizan en la simulación, se puede citar los siguientes:

- Instrumentos de Medida para Señales Ópticas.
 - Analizador de Espectro.
 - Medidor de Potencia.
 - Analizador WDM, etc.
- Instrumentos de Medida para Señales Eléctricas.
 - Osciloscopio.
 - Analizador de Espectro.
 - Analizador de BER.
 - Analizador del diagrama del Ojo, etc

En la figura 2.35, se puede observar algunos de los instrumentos de medida que posee el simulador.

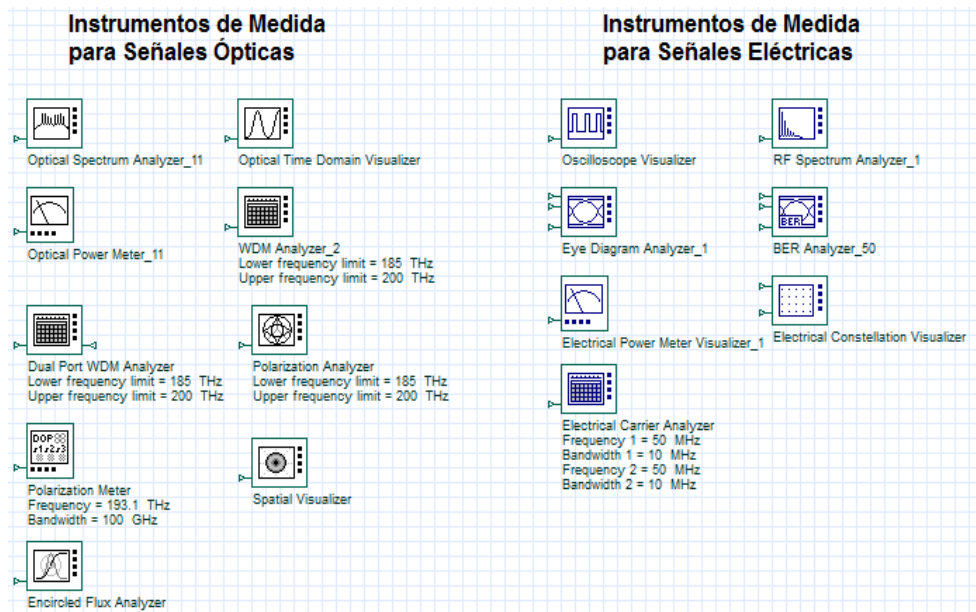


FIGURA 2.35: Instrumentos de medida que posee el simulador.

El uso de estos instrumentos de medida estará presente dentro de toda la simulación, en cada una de sus etapas, es por esto que iniciando las mediciones, se parte de la etapa de transmisión, a la salida del generador de pulsos, en la cual se conecta un osciloscopio, en la figura 2.36, se aprecia la forma der onda a la salida del generador, la misma que es una señal digital con información.

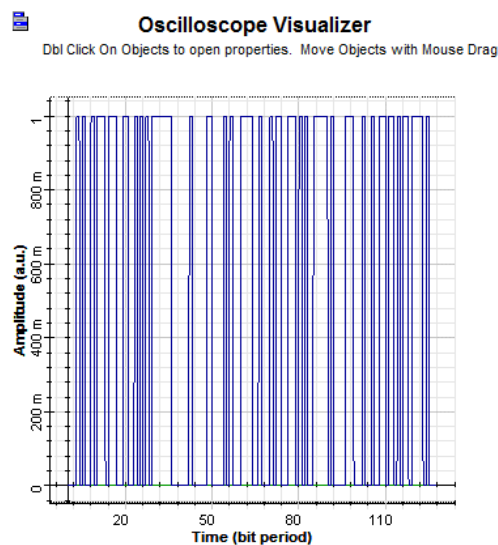


FIGURA 2.36: Forma de Onda a la salida del Generador de Pulso.

Así también se debe medir la longitud de onda y la potencia de cada uno de los diodos laser, de esta forma en la figura 2.37, se puede observar en un analizador de espectros óptico, la frecuencia a la que trabaja el diodo laser, y también la potencia de transmisión a la salida del emisor, por medio de un medidor de potencia óptica.

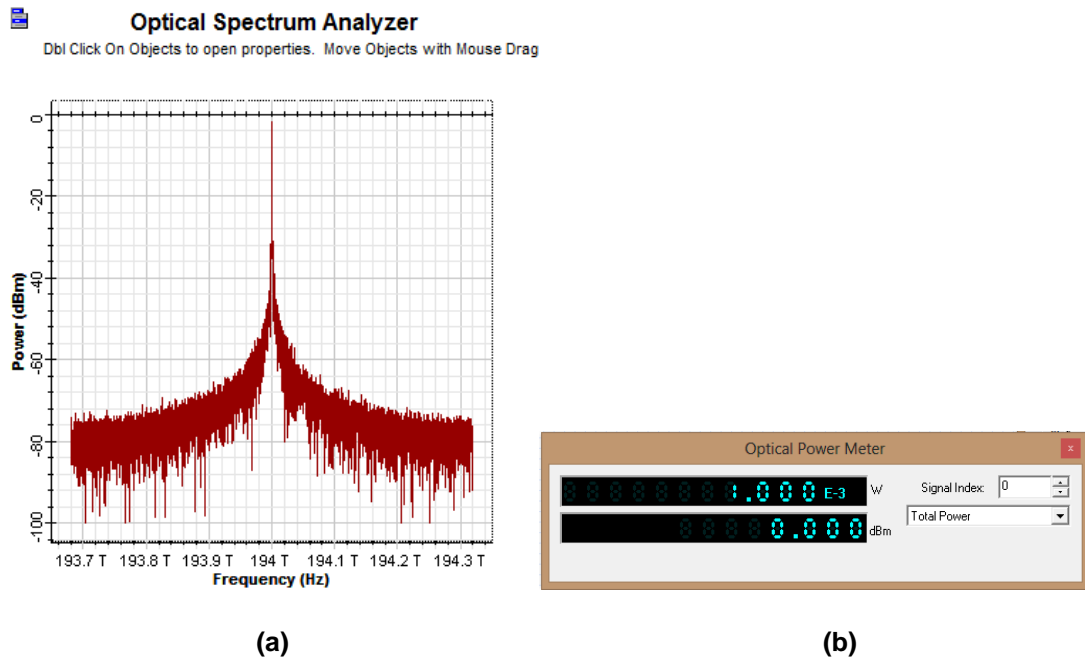


FIGURA 2.37: (a) Frecuencia de Operación. (b) Potencia de transmisión.

Una vez conformado el transmisor, se pueden apreciar varios efectos a la salida del modulador, con respecto a las señales originales. El nivel de potencia de transmisión al ingreso del modulador difiere con el de salida, con -3.14 dB de atenuación, lo que indica un disminución de la mitad de la potencia transmitida.

En la figura 2.38 se muestra las medidas de la potencia de transmisión a la entrada y salida del modulador.

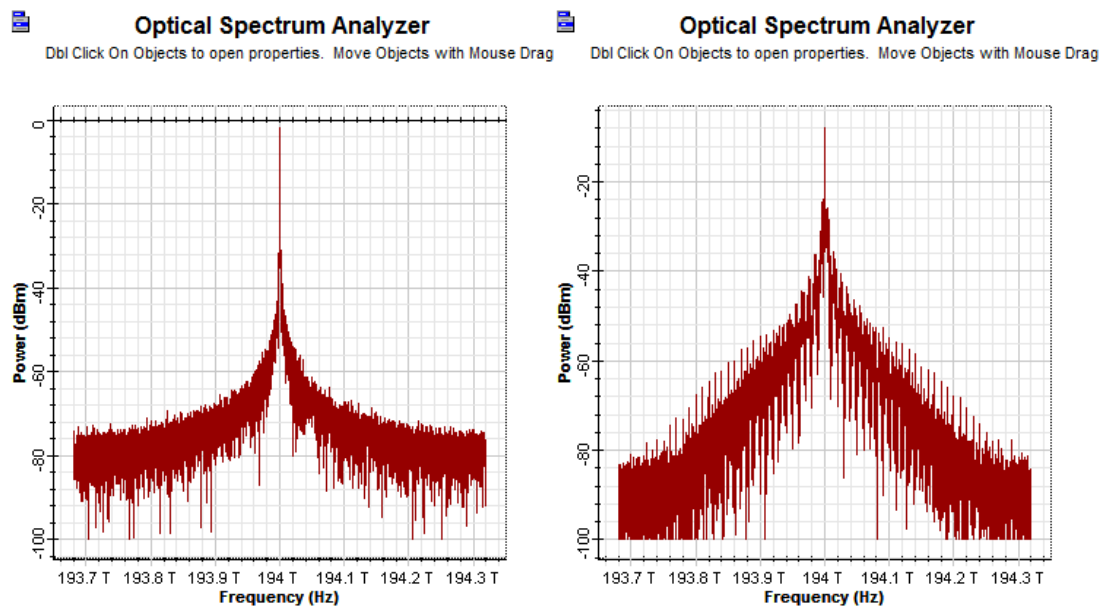


(a)

(b)

FIGURA 2.38: (a) Nivel de Potencia antes del Modulador. (b) Nivel de Potencia después del Modulador.

De igual manera, la forma de onda de la frecuencia difiere antes y después del modulador; en la figura 2.39a se observa como la frecuencia de operación se encuentra sin información, totalmente limpia, a su vez; en la figura 2.39b aparece una frecuencia con un atenuación de 3 dB en su pico máximo y con un ensanchamiento en su ancho de banda, el mismo que corresponde a la información que ésta lleva.



(a)

(b)

FIGURA 2.39: (a) Espectro de Frecuencia Limpia. (b) Espectro de Frecuencia Atenuada.

Sin embargo, la información que ingresa al modulador es casi la misma a su salida, de tal forma que; realizando una comparación de la señal eléctrica al ingreso

del modulador y la señal óptica a su salida, no tiene mayor diferencia. Esto debido a que se debe mantener la información sin ninguna alteración, ya que esto puede afectar el BER de la señal en el receptor remoto.

En la figura 2.40, se observan las señales eléctricas y ópticas en los osciloscopios, sin presentar ningún tipo de cambio significativo.

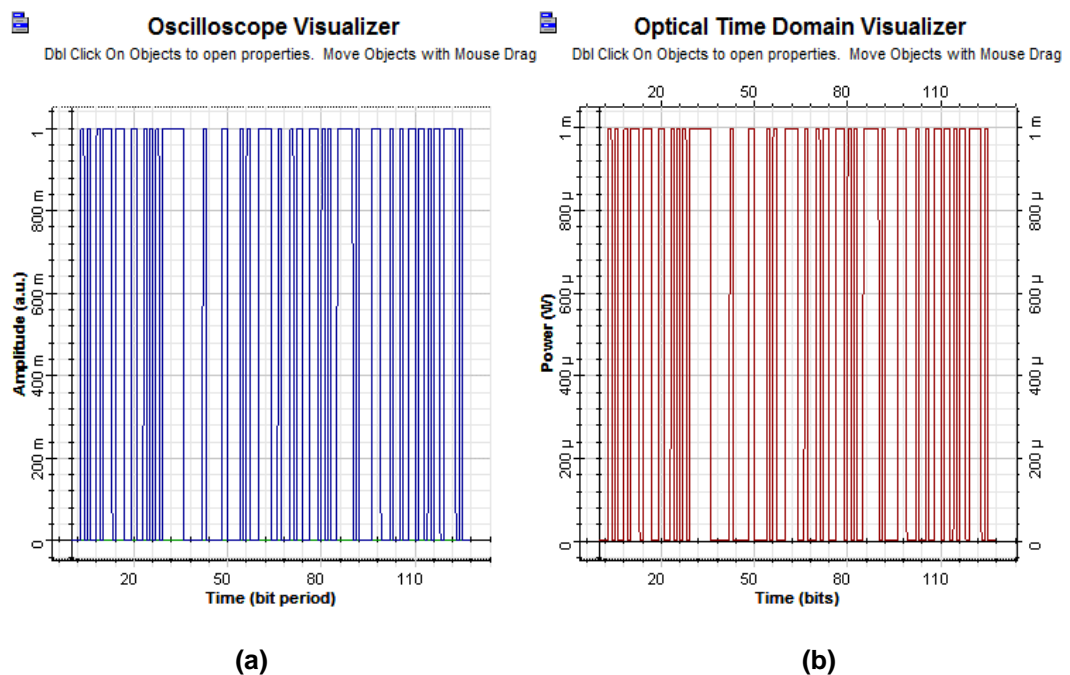


FIGURA 2.40: (a) Señal de Datos Eléctrica. (b) Señal de Datos Óptica.

En resumen se ha configurado un transmisor que permite el envío de información a 10Gbps (STM-64 o 10 Gigabit Ethernet), con una codificación NRZ, a una frecuencia de 194 THz (Terahercios) con una potencia de transmisión de -3.14 dBm.

La flexibilidad del programa permite cambiar estos parámetros dependiendo de los requerimientos que aparezcan dentro de la simulación.

El analizador de espectro muestra las frecuencias de cada una de las longitudes de onda, de forma alineada en amplitud, tomando en cuenta que tienen una potencia de transmisión similar cada una, así también el ancho de banda de cada lambda, que no interfiere con sus cercanas.

El nivel de potencia de transmisión total de todas las lambdas transmitidas. Y la herramienta de analizador de DWDM, en la cual se pueden observar parámetros de frecuencia, potencia de transmisión, ruido y relación señal a ruido de todas las lambdas transmitidas.

En la figura 2.41 se muestran un pantalla del analizador DWDM de las primeras 11 lambdas con las medidas de potencia, ruido y OSNR.

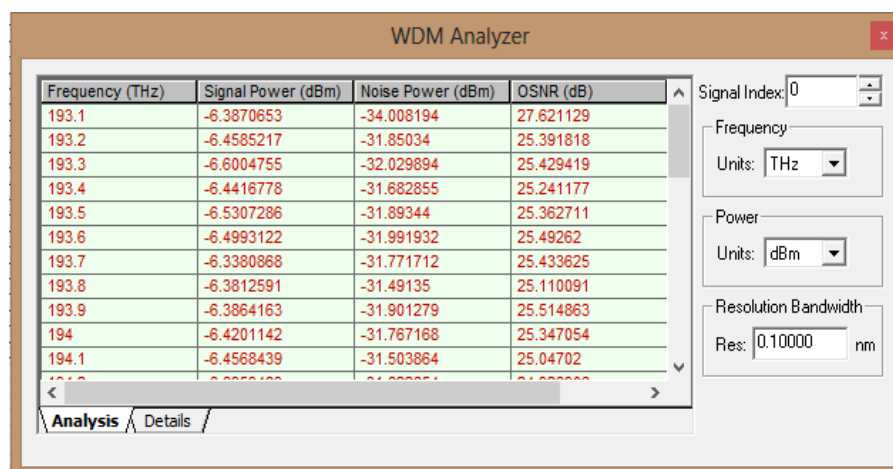


FIGURA 2.41: Niveles de Potencia de las lambdas a la salida del multiplexor.

En la Figura 2.42 se observan los niveles máximos y mínimos de la potencia ópticas de las longitudes de onda totales en transmisión y de las frecuencias de operación a las que se referencian los valores anteriormente mencionados.

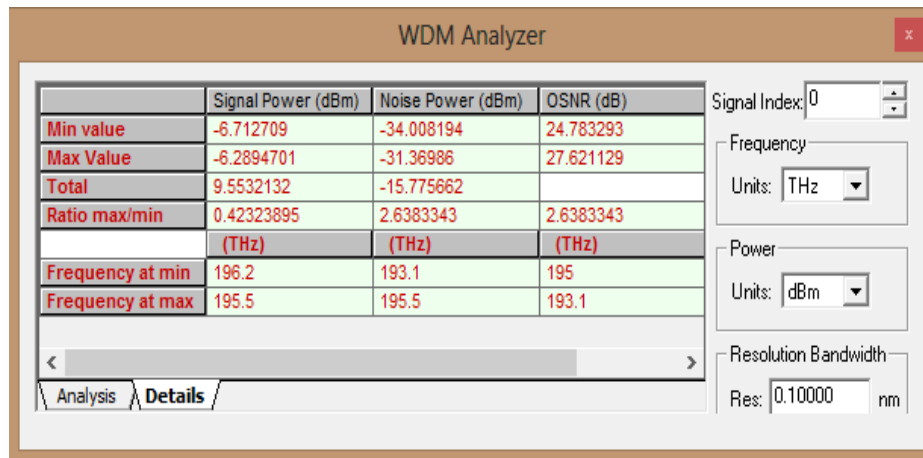


FIGURA 2.42: Niveles de potencia máximos y mínimos a la salida del multiplexor.

En la Figura 2.43 se muestra la forma de onda de las lambdas transmitida a la salida del multiplexor, constituyéndose cada una en un canal de información.

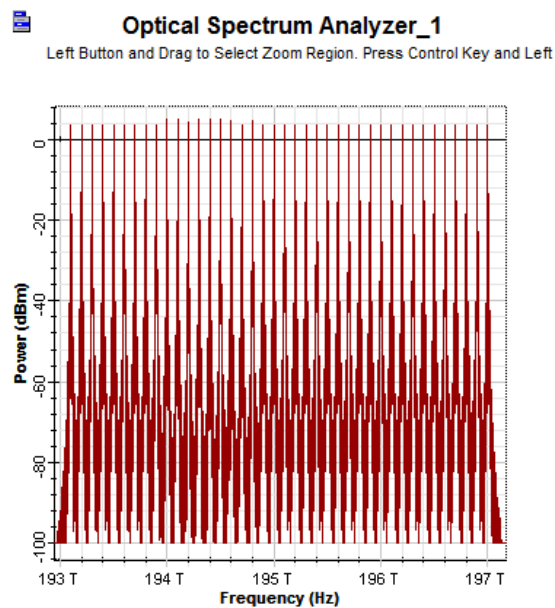


FIGURA 2.433: Espectro de frecuencia a la salida del multiplexor.

En la Figura 2.44 se aprecia el nivel de potencia óptica a la salida del multiplexor, la misma que ingresará a la fibra óptica para ser transmitida.

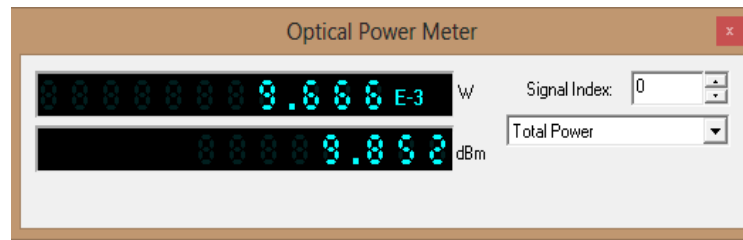


FIGURA 2.444: Niveles de potencia a la salida del multiplexor.

Con estos resultados, producto de las mediciones realizadas, la etapa de transmisión y multiplexación tienen un potencial de salida de 9.85 dBm, con 40 lambdas transmitiendo información, cada una de estas maneja una potencia de -6.3 dBm aproximadamente con un espectro uniforme. Esto ingresará a la fibra óptica propagándose por kilómetros, hasta llegar a su estación remota conformando un enlace óptico.

Dentro de la fibra óptica, la señal que se propaga y se atenúa debido a las propiedades del medio de transmisión y a la distancia del enlace, dadas estas condiciones, es necesario revisar el nivel de potencia total y de lambdas en el extremo final de la fibra, así como la existencia de dispersión cromática y la forma de onda de cada una de las lambdas.

Para efectos de potencia, se usan los instrumentos de medida de potencia óptica y analizador DWDM, haciendo alusión al primer tramo de fibra óptica, se tiene un salto de 103.22 kilómetros, debido a la longitud del enlace, se prevé una atenuación considerable, así también una diferencia de potencias entre lambdas, esto provocado por la atenuación de la fibra óptica G.655 que es de 0.2 dB/km y por lo empalmes ópticos, dado a la longitud de cada uno de los tramos que conforman la longitud total del enlaces, que tienen una pérdida de 0.1 dB. En la figura 2.45, se puede observar una muestra de los niveles de potencia entre lambdas.

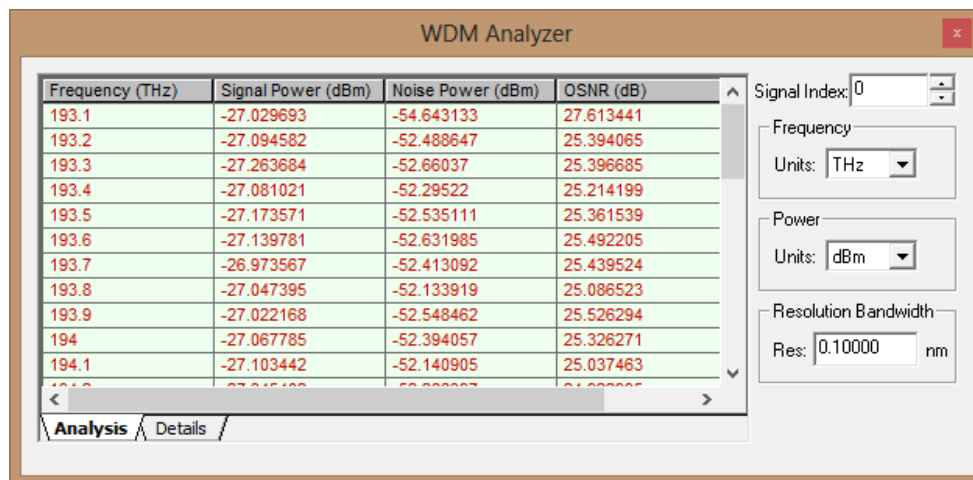


FIGURA 2.45: Niveles de Potencia de las lambdas a la salida de la fibra óptica.

Los niveles en las lambdas son de -27.1 dBm aproximadamente, por lo que la atenuación es de 21 dB. En la figura 2.46, se puede apreciar el nivel de potencia total en el extremo de la fibra óptica.

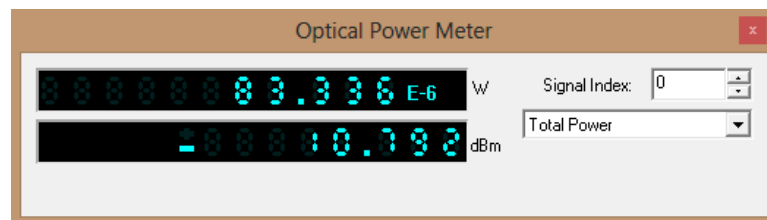


FIGURA 2.46: Niveles de potencia a la salida de la fibra óptica.

El nivel de atenuación en las lambdas, tiene proporcionalidad en cuanto respecta a la potencia total, ya que se ubica en un nivel de -10.7 dBm, siendo la atenuación de aproximadamente 20 dB. Con estos niveles de potencia es necesario el uso de un amplificador, el mismo que permita incrementar la potencia de la señal y que esta pueda continuar con su propagación, hasta llegar con la información en el sitio destinado. En la figura 2.47, se muestra como las longitudes de onda no son uniformes en potencia, en el extremo de la fibra óptica.

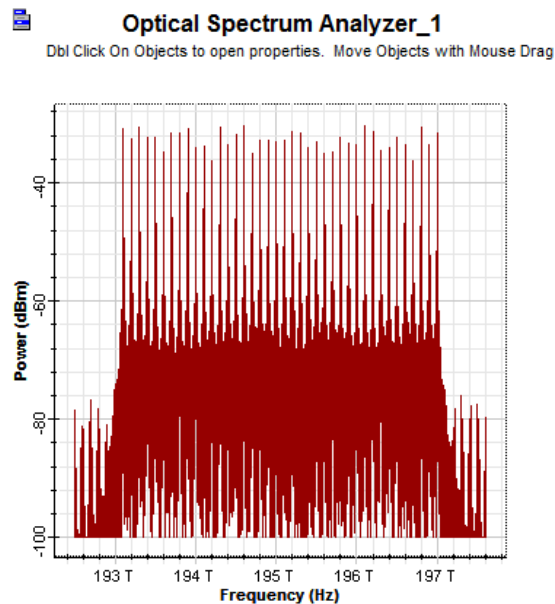


FIGURA 2.47: Espectro de frecuencia a la salida de la fibra óptica, sin amplificación.

Esta uniformidad, obedece a un nivel de potencia igual o similar en cada una de las lambdas transmitidas. Lo que se debe procurar es que no existan diferencias notables entre lambdas, esto se puede corregir dentro de los equipos multiplexores, con un proceso de ecualización de cada longitud de onda.

Al implementar un amplificador óptico, este aumenta tanto la señal como el ruido, por lo que se debe amplificar un valor igual o mayor de la atenuación experimentada por la señal, al propagarse por la fibra óptica. De esta forma, si la señal se atenuó 20 dB en el extremo de la fibra óptica, el amplificador debe recuperar esta atenuación y tener la capacidad de incrementar la señal con una ganancia mínima de 20 dB.

Los niveles de potencia a la salida del amplificador, distan muy poco de los niveles de salida del multiplexor, sin embargo en el espectro de la señal ya se evidencia una señal de ruido, la cual se la debe mantener lo más alejada de la señal, y conservar una relación señal a ruido (SNR) adecuado. En la figura 2.48, se muestra

el espectro de la señal a la salida del multiplexor y del amplificador, en la cual se pueden apreciar las similitudes y la diferencias de la señal que se está propagando.

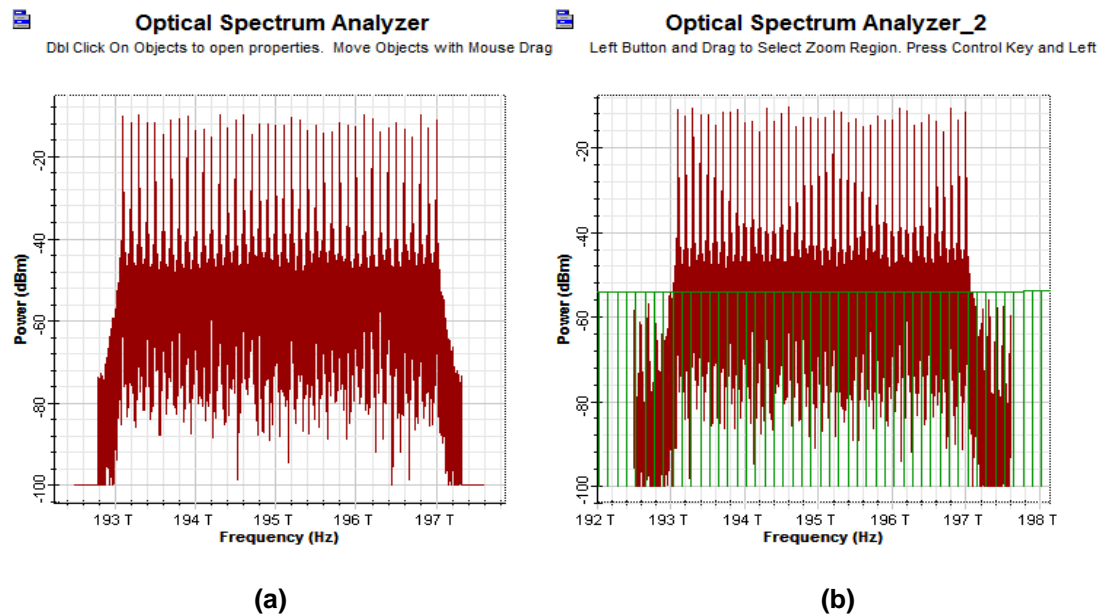


FIGURA 2.48: (a) Espectro de Frecuencia antes de ingresar al Amplificador. (b) Espectro de Frecuencia después de ingresar al Amplificador

Dentro de la red, existen enlaces que consisten en un solo salto entre estaciones, así también, existen otros que poseen dos y hasta tres saltos para llegar a la estación destino, en estos saltos es imprescindible el uso de amplificadores de señal óptica y compensadores de dispersión cromática.

Esto aplicado a la simulación, corresponde un nivel de potencia a la entrada del demultiplexor junto con los parámetros revisados dentro de los procesos anteriores.

En la figura 2.49, se puede observar los niveles de potencia en una muestra de las lambdas, a la entrada del demultiplexor.

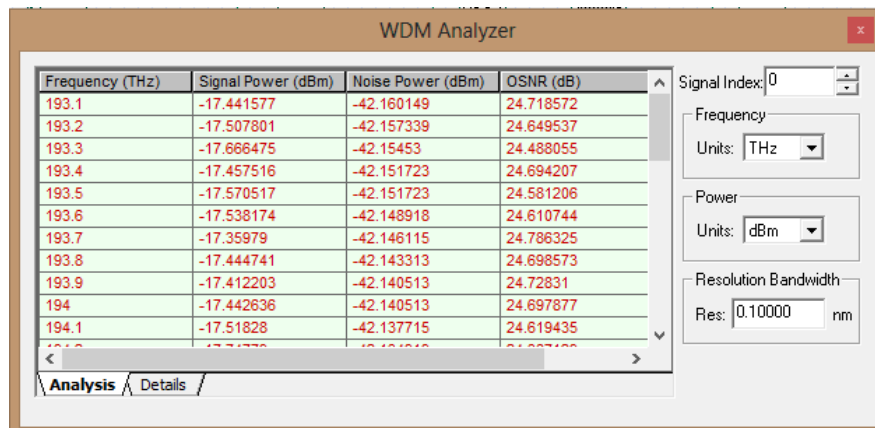


FIGURA 2.49: Niveles de Potencia de cada lambda, ingresando al demultiplexor.

En la figura 2.50, se aprecian los niveles de potencia de cada una de las lambdas, dentro de su espectro de frecuencia.

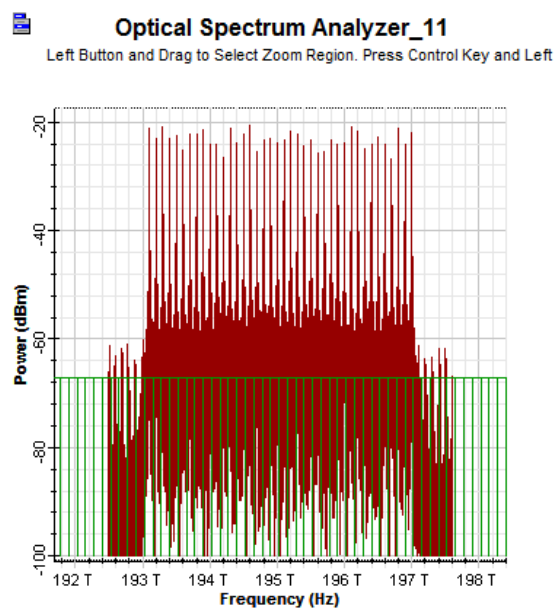


FIGURA 2.500: Espectro Óptico de Longitudes de Onda, ingresando al Demultiplexor

En la figura 2.51, se muestra el nivel de potencia a la entrada del demultiplexor, este es un nivel de potencia típico dentro de un sistema DWDM.

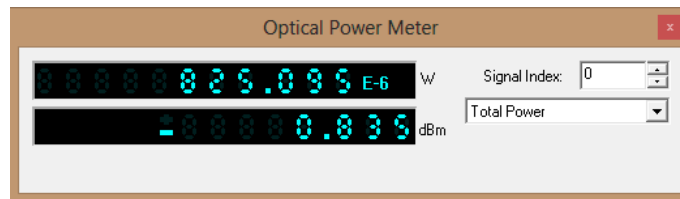


FIGURA 2.511: Nivel de Potencia de Recepción, en el demultiplexor.

Ya con la señal en el demultiplexor, este se encarga de la distribución ordenada de cada uno de los canales, provenientes del multiplexor, correspondientes a cada una de las longitudes de onda.

Son seleccionadas, aquellas longitudes de onda que deben entregar su información, en los receptores dispuestos para el efecto. Por lo que, para cada estación, está asignado un número de canales, estos al ser enviados al receptor, es posible ejecutar un monitoreo del estado de la señal y una medición de la tasa de bits errados (BER).

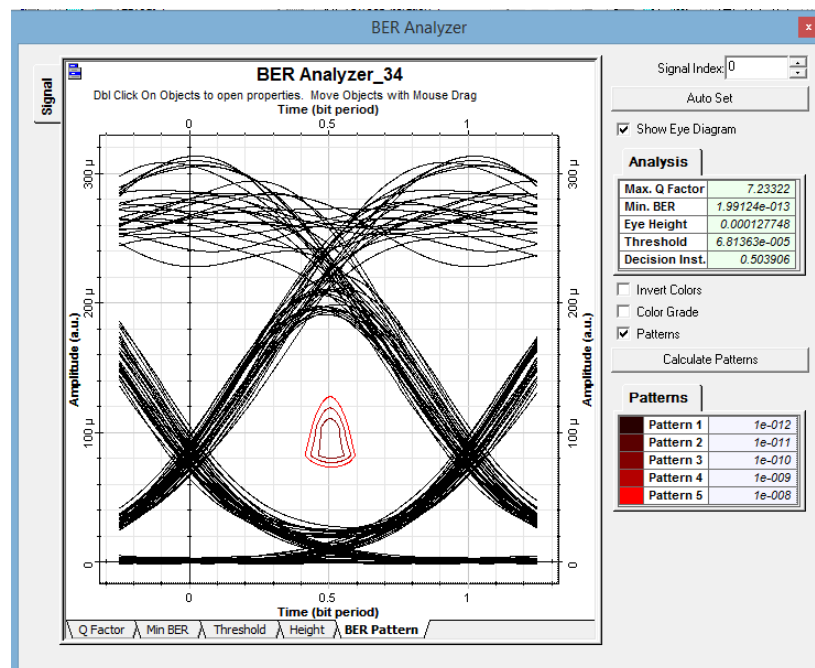


FIGURA 2.52: Niveles de Tasa de Error (BER) y Diagrama del Ojo.

Para realizar este proceso, es necesario el uso de un analizador de BER, en el cual se puede visualizar la tasa de bits errados y el diagrama del ojo. En la figura 2.52, se puede apreciar los resultados del estado de la información recibida.

Dentro de los resultados que arroja el analizador, está la tasa de bits errados de la señal recibida, dado que no puede ser mayor a 10^{-9} , ya la tasa de bits errados es superior, la información tendrá errores en su recepción y existirá pérdidas. También el factor Q (factor de calidad), identifica la calidad y la integridad de la información.

2.8 CONFORMACIÓN DE RED DWDM

Una vez realizada una revisión de los elementos y procesos que interviene dentro de la red DWDM, es momento de plantear las locaciones donde se encontraran dichos elemento, al ser una propuesta a nivel nacional, en la tabla 2.3 se puede observar el listado de estaciones, direcciones hacia dónde van los enlaces ópticos, la longitud del enlace, el tipo de equipo a ser utilizado, y el tipo de fibra óptica instalada.

N° DE ENLACE	ESTACIÓN	REMOTO	DISTANCIA (km)	EQUIPO	TIPO DE FIBRA
1	Quito Norte	San Miguel	103,22	FOADM	G.655 LEAF
2	San Miguel	Puerto Quito	48,13	OLA	G.655 LEAF
3	Puerto Quito	Santo Domingo	77,82	OLA	G.655 LEAF
4	Santo Domingo	Patricia Pilar	55,00	FOADM	G.655 LEAF
5	Patricia Pilar	Quevedo	59,49	OLA	G.655 LEAF
6	Quevedo	Ventanas	62,04	FOADM	G.655 LEAF
7	Ventanas	Babahoyo	52,89	OLA	G.655 LEAF
8	Babahoyo	Milagro	55,00	FOADM	G.655 LEAF
9	Milagro	Guayaquil	62,00	OLA	G.655 LEAF
10	Guayaquil	Naranjal	93,49	FOADM	G.655 LEAF
11	Naranjal	Camilo Ponce	61,45	OLA	G.655 LEAF
12	Camilo Ponce	Machala	39,84	OLA	G.655 LEAF

13	Machala	Santa Isabel	77,00	FOADM	G.655 LEAF
14	Santa Isabel	Cuenca	69,00	OLA	G.655 LEAF
15	Cuenca	Cañar	63,97	FOADM	G.655 LEAF
16	Cañar	Chunchi	84,93	FOADM	G.655 LEAF
17	Chunchi	Alausí	30,20	OLA	G.655 LEAF
18	Alausí	Columbe	72,08	OLA	G.655 LEAF
19	Columbe	Riobamba	57,66	OLA	G.655 LEAF
20	Riobamba	Ambato	71,79	FOADM	G.655 LEAF
21	Ambato	Latacunga	50,84	OLA	G.655 LEAF
22	Latacunga	Chasqui	47,09	OLA	G.655 LEAF
23	Chasqui	Quito Sur	61,44	OLA	G.655 LEAF
24	Quito Sur	Quito Norte	59,15	OLA	G.655 LEAF

TABLA 2.3.- Descripción de Enlaces Ópticos.

Los equipos FOADM (Fixed Optical Add-Drop Multiplexer) son aquellos en donde existen los módulos multiplexores y demultiplexores, como las unidades de transmisión y recepción, junto con los puertos de entrada y salida de las tarjetas de servicio SDH y Ethernet. Mientras que los equipos OLA son amplificadores, en donde no existen tarjetas de servicio instaladas. Así también se encuentran los compensadores de dispersión cromática. En la tabla 2.4, se puede apreciar los valores de dispersión cromática, de los tramos con mayor longitud.

Tramo	Ensanchamiento de Pulso				Dispersión Cromática		
	Dispersión Cromática	Longitud de la Fibra	Ancho Espectral	Ensanchamiento del Pulso	Longitud de la Fibra	Ancho Espectral	Dispersión Cromática
	Mλ ps/(nm*km)	L Km	Δλ nm	ΔT ps	L Km	Δλ nm	Mλ ps/(nm*km)
Quito - Santo Domingo	4	231,2	0,008	7,40	1	0,01	740
Guayaquil - Machala	4	194,78	0,008	6,23	1	0,01	623
Cañar - Riobamba	4	244,87	0,008	7,84	1	0,01	784
Ambato - Quito Norte	4	218,52	0,008	6,99	1	0,01	699

TABLA 2.4: Valores de Dispersión Cromática en los tramos de mayor longitud.



La red tiene una longitud aproximada de 1515 km, cada uno de los carretes de fibra óptica son de 5 km de extensión, por lo que se tendrán, entre 6 y 20 empalmes ópticos de fusión con una atenuación de 0.1 dB. El tendido de la fibra óptica es aéreo, por el trazado de la carretera principal entre locaciones.

La configuración de los equipos es Add/Drop Multiplexer, con una capacidad de 40 lambdas, con manejo por canal de 10 Gbps, una potencia de transmisión máxima de 17 dBm, una sensibilidad de receptor -30 dBm. Equipado con tarjetas de servicios Giga Ethernet y Fast Ethernet ópticas y eléctricas. En la tabla 2.5, su muestra la distribución de las 40 lambdas de servicios.

ESTACIÓN	DIRECCIÓN	UTA PINCIPAL	UTA PROTECCIÓN	LAMBDA	FRECUENCIA	PUERTO LOCAL	PUERTO PRINCIPAL	PUERTO PROTECCIÓN
SANTO DOMINGO	QUITO NORTE	PUERTO QUITO	PATRICIA PILAR	1	193,1	STO 1	UIO 1	GYE 1
SANTO DOMINGO	QUITO NORTE	PUERTO QUITO	PATRICIA PILAR	2	193,2	STO 2	UIO 2	GYE 2
SANTO DOMINGO	QUITO NORTE	PUERTO QUITO	PATRICIA PILAR	3	193,3	STO 3	UIO 3	GYE 3
SANTO DOMINGO	QUITO NORTE	PUERTO QUITO	PATRICIA PILAR	4	193,4	STO 4	UIO 4	GYE 4
QUEVEDO	DURAN	VENTANAS	PATRICIA PILAR	5	193,5	QUE 1	UIO 5	GYE 5
QUEVEDO	DURAN	VENTANAS	PATRICIA PILAR	6	193,6	QUE 2	UIO 6	GYE 6
QUEVEDO	DURAN	VENTANAS	PATRICIA PILAR	7	193,7	QUE 3	UIO 7	GYE 7
BABAHOYO	DURAN	DURAN	VENTANAS	8	193,8	BAB 1	UIO 8	GYE 8
BABAHOYO	DURAN	DURAN	VENTANAS	9	193,9	BAB 2	UIO 9	GYE 9
BABAHOYO	DURAN	DURAN	VENTANAS	10	194	BAB 3	UIO 10	GYE 10
QUITO NORTE	DURAN	SAN MIGUEL	QUITO SUR	11	194,1	UIO 1	UIO 11	GYE 11
QUITO NORTE	DURAN	SAN MIGUEL	QUITO SUR	12	194,2	UIO 2	UIO 12	GYE 12
QUITO NORTE	DURAN	SAN MIGUEL	QUITO SUR	13	194,3	UIO 3	UIO 13	GYE 13
QUITO NORTE	DURAN	SAN MIGUEL	QUITO SUR	14	194,4	UIO 4	UIO 14	GYE 14
QUITO NORTE	DURAN	SAN MIGUEL	QUITO SUR	15	194,5	UIO 5	UIO 15	GYE 15

MACHALA	DURAN	CAMILO PONCE	HUAQUILLAS	16	194,6	MAC 1	GYE 15	UIO 16
MACHALA	DURAN	CAMILO PONCE	HUAQUILLAS	17	194,7	MAC 2	GYE 16	UIO 17
MACHALA	DURAN	CAMILO PONCE	HUAQUILLAS	18	194,8	MAC 3	GYE 17	UIO 18
MACHALA	DURAN	CAMILO PONCE	HUAQUILLAS	19	194,9	MAC 4	GYE 18	UIO 19
CUENCA	DURAN	YUNGUILLA	CAÑAR	20	195	CUE 1	GYE 19	UIO 20
CUENCA	DURAN	YUNGUILLA	CAÑAR	21	195,1	CUE 2	GYE 20	UIO 21
CUENCA	DURAN	YUNGUILLA	CAÑAR	22	195,2	CUE 3	GYE 21	UIO 22
CUENCA	DURAN	YUNGUILLA	CAÑAR	23	195,3	CUE 5	GYE 22	UIO 23
CAÑAR	DURAN	CUENCA	CHUNCHI	24	195,4	CAN 1	GYE 23	UIO 24
CAÑAR	DURAN	CUENCA	CHUNCHI	25	195,5	CAN 2	GYE 24	UIO 25
CAÑAR	DURAN	CUENCA	CHUNCHI	26	195,6	CAN 3	GYE 25	UIO 26
CAÑAR	DURAN	CUENCA	CHUNCHI	27	195,7	CAN 4	GYE 26	UIO 27
RIOBAMBA	QUITO NORTE	AMBATO	COLUMBE	28	195,8	RIO 1	GYE 27	UIO 28
RIOBAMBA	QUITO NORTE	AMBATO	COLUMBE	29	195,9	RIO 2	GYE 28	UIO 29
RIOBAMBA	QUITO NORTE	AMBATO	COLUMBE	30	196	RIO 3	GYE 29	UIO 30
RIOBAMBA	QUITO NORTE	AMBATO	COLUMBE	31	196,1	RIO 4	GYE 30	UIO 31
AMBATO	QUITO NORTE	LATACUNGA	RIOBAMBA	32	196,2	AMB 1	GYE 31	UIO 32
AMBATO	QUITO NORTE	LATACUNGA	RIOBAMBA	33	196,3	AMB 2	GYE 32	UIO 33
AMBATO	QUITO NORTE	LATACUNGA	RIOBAMBA	34	196,4	AMB 3	GYE 33	UIO 34
AMBATO	QUITO NORTE	LATACUNGA	RIOBAMBA	35	196,5	AMB 4	GYE 34	UIO 35
GUAYAQUIL	QUITO NORTE	BABAHOYO	NARANJAL	36	196,6	GYE 1	GYE 35	UIO 36
GUAYAQUIL	QUITO NORTE	BABAHOYO	NARANJAL	37	196,7	GYE 2	GYE 36	UIO 37
GUAYAQUIL	QUITO NORTE	BABAHOYO	NARANJAL	38	196,8	GYE 3	GYE 37	UIO 38
GUAYAQUIL	QUITO NORTE	BABAHOYO	NARANJAL	39	196,9	GYE 4	GYE 38	UIO 39
GUAYAQUIL	QUITO NORTE	BABAHOYO	NARANJAL	40	197	GYE 5	GYE 39	UIO 40

TABLA 2.5.- Descripción de Servicios de la Red DWDM

2.9 ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED SIMULADA

La simulación parte de dos ramales, que conforman un anillo, el primero; parte desde la estación Quito Norte, hasta la estación Guayaquil, con 10 servicios conectados punto a punto, con una capacidad de 10 Gbps. Adicionalmente 30 servicios entre principales y de protección, que recogen la información de las estaciones nodales ubicadas en el trayecto de la ruta.

Desde la nodo Quito Norte parte una fibra de 103.22 km, hacia el repetidor San Miguel en donde la señal se amplifica y se compensa las dispersión cromática; para transmitir la señal por un tramo de 48.13 km hasta llegar al repetidor Puerto Quito, de igual forma se amplifica la señal, para transmitirla a una distancia de 77.82 km hasta arribar en el nodo Santo Domingo.

Se destinan 4 canales para el nodo para este nodo, que van desde la lambda 193.1 hasta la lambda 193.4, mientras que los canales restantes, se crossconectan hacia el multiplexor que continua la red. El tramo Quito Norte – Santo Domingo, tiene una longitud de 231 km, con una potencia de transmisión total de 9.852 dBm y potencia de transmisión por canal de -6.38 dBm. La potencia de recepción total registrada al ingreso del demultiplexor es -0.835 y la potencia de recepción por canal de -17.44 dBm, la tasa de BER se ubica en 1.59×10^{-9} y una factor Q de 5.90.

Para transmitir la información al siguiente nodo, las 4 lambdas recibidas en el nodo Santo Domingo, no se pierden, al contrario ingresan al multiplexor 4 canales con la información proveniente de los servicios de Santo Domingo, completando con los 36 canales que cruzaron entre Demux y Mux, cabe mencionar que al tener diferentes potencias, los canales que cruzaron entre equipos y los canales que ingresaron en el nodo, es necesario realizar una ecualización de potencias, la misma

que permite compensar aquellas lambdas con bajo nivel de potencia y atenuar a aquellas que tiene un alto nivel de potencia, procurando uniformidad de potencia en cada canal, hasta que todos se encuentren alineados en un nivel común.

Se transmite por la fibra óptica, con una longitud de 55 km hasta el repetidor Patricia Pilar, que amplifica la señal y la envía a 59.49 km, hasta arribar al nodo Quevedo. La potencia transmitida es 9.978 dBm y -6.426 dBm por canal, con una longitud total de 114.49 km, con una potencia de recepción total de 2.097 dBm y -14.33 dBm por canal. Para el nodo Quevedo se asignan 3 canales desde la lambda 193.4 hasta la lambda 194.6, los canales restantes se crossconectan entre demux y mux, con una tasa de BER de 9.62×10^{-11} y un factor Q de 6.34.

La red continua desde el nodo Quevedo con una potencia de transmisión total de 10.444 dBm y -5.34 por canal, recorre una distancia de 62.04 km para llegar al repetidor Ventanas, la señal se amplifica y viaja otros 52.89 km para arribar al nodo Babahoyo, en donde tiene una potencia total de recepción de 2.480 dBm y -13.54 dBm por canal. Con una distancia total de 114.93 km, se asignan 3 canales desde la lambda 193.7 hasta la lambda 193.9, manteniendo una tasa de BER de 1.99×10^{-13} y un factor Q de 7.23.

Finalmente para completar el ramal, que se lo conocerá como Ramal Costa, parte desde el nodo Babahoyo la información dentro de la fibra óptica, por una longitud de enlace de 55 km, con una potencia de transmisión de 10.828 dBm y -5.584 dBm por canal, hasta el repetidor Milagro, en donde se amplifica la señal que se propaga por 62 km adicionales, para llegar al Core Guayaquil. El nivel de potencia de recepción es 2.443 dBm y -14.04 dBm por canal, con una tasa de BER de 1.79×10^{-13} .

⁸ y un factor Q de 5.49. El ramal Costa tiene una longitud total de 575.59 km, constituyéndose en el tramo más corto del anillo óptico,

El segundo ramal, conocido también como Ramal Sierra, parte desde el Core Guayaquil hasta el Core Quito Norte, con la misma configuración de conexiones, pero difiere en las rutas principales y de protección. El Core provee de los servicios que ingresan al Mux de Guayaquil, y se propaga a una distancia de 93.49 km, con una potencia de transmisión de 12.852 dBm y -3.38 dBm por canal, hasta llegar a la repetidora Naranjal, donde se amplifica y compensa dispersión cromática, para viajar otros 61.45 km y arribar a la repetidora Ponce Enríquez, en la que se realiza el proceso de amplificación, y se envía la señal a una distancia de 39.84 km hasta alcanzar al nodo Machala, que detecta una potencia máxima de recepción de 3.781 dBm y -12.524 dBm por canal, con una tasa de BER de 1.37×10^{-9} y un factor Q de 5.89, con una distancia total del enlace de 194.78 km.

Desde el nodo Machala, continua la red, transmitiendo a una distancia de 77 km, hasta el repetidor Santa Isabel, amplificada la señal, se traslada por otros 69 km para llegar al nodo Cuenca, el enlace tiene una potencia de transmisión total de 14.819 dBm y -1.39 dBm por canal, con nivel de recepción total de 0.635 dBm y -15.59 dBm por canal. El tramo tiene una longitud de 146 km y mantiene una tasa de BER de 2.30×10^{-10} y un factor Q de 6.18.

El tramo en el que no intervienen repetidores intermedios con amplificadores, y en esencia es el más corto en distancia, tomando en cuenta de nodo a nodo, con una longitud total de 63.97 km, es aquel que inicia en el nodo Cuenca, con una potencia de transmisión total de 8.740 dBm y -7.470 dBm por canal, se propaga a una distancia de 63.97 km, hasta arribar al nodo Cañar, con un nivel de recepción

total de 0.964 dBm y -15.388 por canal. Con una tasa de BER de 2.16×10^{-10} y un factor Q de 6.19. Dado que es un solo salto entre nodos, es indispensable el incorporar en el nodo Cañar un amplificador a la entrada del demultiplexor.

Desde el nodo Cañar, continua la red, la señal es transmitida con un nivel de potencia total de 9.082 dBm y -7.132 dBm por canal, a una distancia de 84.93 km, al repetidor Chunchi, posteriormente se desplaza por otros 30.20km, hasta el repetidor Alausí, donde se amplifica y compensa dispersión cromática, propagándose ahora 72.08 km, para llegar al repetidor Columbe, de igual forma la señal es amplificada para viajar 57.66 km, y arribar al nodo Riobamba. Con un nivel de potencia de recepción total de 0.055 dBm y -16.239 dBm por canal, propagándose por una distancia total de 244.87 km y mantienen una tasa de BER de 2.15×10^{-8} y un factor Q de 5.45.

La red configura otro enlace nodal, sin presencia de repetidores intermedios, desde el nodo Riobamba, la señal se propaga a una distancia de 71.79 km, con una potencia de transmisión total de 8.070 dBm y -8.113 dBm por canal. En el nodo Ambato, el nivel de recepción total es de 0.756 dBm y -15.623 dBm por canal, al ser un escenario similar al del tramo Cuenca – Cañar, es necesario implementar un amplificador a la entrada del demultiplexor, al momento se cuenta con una tasa de BER de 1.69×10^{-11} y un factor Q de 6.61.

Cerrando el anillo, se plantea el último tramo, que parte desde el nodo Ambato, con una longitud de 50.84 km, con una potencia de transmisión total de 8.844 dBm y 7.497 dBm por canal, enlazándose con el repetidor Latacunga, éste amplifica la señal y la envía por la fibra óptica a una distancia de 47.09 km, hacia el repetidor Chasqui, que tiene la misma función del salto anterior, con el agregado de compensación de

dispersión cromática. La señal se transfiere por otros 61.44 km, para arribar al repetidor Quito Sur, que realiza la última amplificación de señal, para propagarse por 59.15 km y llegar a Core Quito Norte. Con una potencia de recepción total de -0.021 dBm y -16.421 dBm por canal, cubriendo una distancia total de 218.52 km, manteniendo una tasa de BER de 1.91×10^{-9} y un factor Q de 5.86.

De esta forma se completa el anillo de la Red DWDM Nacional, en la que se puede observar que la tasa de bits errados BER, tiene como promedio 1×10^{-9} , con lo que se asegura que la red tiene, una correcta disponibilidad y tasa de bits errados moderada. De igual manera, las potencias de los elementos dentro de la red, están en los parámetros adecuados, sin sufrir severas atenuaciones, ni exageradas ganancias. En resumen la red es apta para su funcionamiento y garantiza la transmisión correcta de servicios de datos en SDH, SONET y Ethernet.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS

3.1 SIMULACIÓN DE ELEMENTOS DE RED MANEJANDO 128 LAMBDA.

Después de simular la red DWDM con una capacidad de 40 longitudes de onda, se configura el escenario para ampliar su capacidad a más del triple 128 longitudes de onda. Sin embargo hay que tener presente varios aspectos antes de su simulación.

Como punto de partida se establece que, la separación entre longitudes de onda o canales para una configuración de 40 lambdas es de 100 GHz, mientras que para la ampliación de capacidad a 128 lambdas, la separación entre canales será de 50 GHz. Por consiguiente, no es suficiente la banda de operación C que va desde los 1530 nm a 1565 nm, es necesario, también tomar parte de la banda de operación L que va desde 1565 nm a 1625 nm.

De igual forma al triplicarse la capacidad de transporte, la potencia de transmisión aumenta y en consecuencia el ruido, de tal forma que existirán cambios a lo largo de la red, como por ejemplo, la inclusión de amplificadores, aumento en la ganancia de los amplificadores actuales, actualización de equipos, entre otros.

Es importante recalcar que este es un escenario simulado, por lo que proporcionará resultados aproximados, a lo que puede ser un contexto real, en la actualidad la capacidad a la que funcionan las redes DWDM es a 80 lambdas y el

equipamiento está probado y en constante mejora, por lo que la simulación a mayor capacidad es un reto y definiría una respuesta positiva para el incremento de la capacidad en un futuro.

Finalmente el simulador está en la capacidad de manejar el incremento en los canales y los componentes adicionales que la red requiera, sin embargo al ser una simulación con mayor cantidad de elementos, requiere mayor tiempo de procesamiento y análisis sobre la red.

3.2 ANÁLISIS DE NIVELES DE POTENCIA DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN

La simulación de una red con capacidad de 40 longitudes de onda, tiene un nivel de transmisión de aproximadamente 12,85 dBm, trasmitiendo en todos los canales, para el nuevo escenario de 128 longitudes de onda, la potencia se incrementará; esto debido al ampliación de 88 canales adicionales, y cada uno de estos canales transmite una potencia de 0 dBm, al reunir todos los canales se obtiene una potencia máxima de transmisión de 21,07 dBm, sin embargo la simulación partirá desde los 18,28 dBm.

Dentro del proceso de propagación, la señal tendrá que atravesar las mismas distancias que en la simulación anterior, por lo que se plantea la inquietud, si requiere aumentar la ganancia en los puntos de amplificación.

La simulación a 128 lambdas revela, que es necesario aumentar la ganancia en los amplificadores ubicados en los sitios repetidores, asegurando que la señal mantenga un nivel de potencia óptimo, antes de ingresar a la etapa de recepción. Sin embargo, esto se aplica los enlaces superiores a los 150 km, los enlaces inferiores a

esta distancia, mantienen el valor de ganancia sin alteraciones, con respecto a la simulación inicial.

La señal llega al Demultiplexor y debe tener un nivel de potencia alto, ya que, debe dividirse para los 128 canales, si la potencia en los canales es inferior a los -25 dBm, la señal óptica será débil y no podrá ser convertida en señal eléctrica, y en consecuencia, la información no será recuperada.

En el analizador WDM, se puede revisar el nivel de potencia de los canales, tanto a la salida del Mux, como a la entrada del Demux. En la tabla 3.1, se toma una muestra comparativa de potencia del enlace entre Quito y Santo Domingo.

Estación	Quito	San Miguel de los Bancos		Puerto Quito		Santo Domingo
Ganancia Amplificadores	X	17 dB		15 dB		X
Señal	Tx (dBm)	Rx (dBm)	Tx (dBm)	Rx (dBm)	Tx (dBm)	Rx (dBm)
40 Lambdas	12,85	-7,79	9,37	-0,44	14,56	-0,99
Ganancia Amplificadores	X	20 dB		15 dB		X
Señal	Tx (dBm)	Rx (dBm)	Tx (dBm)	Rx (dBm)	Tx (dBm)	Rx (dBm)
128 Lambdas	18,28	-2,35	17,69	7,86	22,86	7,30

TABLA 3.1.- Tabla comparativa de niveles de potencia de una enlace óptico para 40 y 128 longitudes de onda.

La potencia de transmisión de cada uno de los canales, es el mismo en ambas simulaciones, no obstante, los niveles de potencia a la entrada del demultiplexor, difieren en 3dB, siendo superior la simulación a 128 lambdas.

La potencia recibida en la primera longitud de onda, correspondiente a la simulación inicial es de -17.41 dBm, mientras que la potencia recibida, en la misma lambda, de la simulación a 128 longitudes de onda es de -14.44 dBm. En la figura

3.1 se muestran las potencias de transmisión, partiendo desde los multiplexores ubicados en el Core Quito, para los dos escenarios simulados.



FIGURA 3.1: Nivel de potencia de transmisión. (a) Simulación 40 lambdas. (b) Simulación 128 lambdas.

En la figura 3.2 se observa los niveles de potencia de recepción, al ingresar en el demultiplexor del Nodo Santo Domingo, para ambas simulaciones.



FIGURA 3.2: Nivel de potencia de recepción. (a) Simulación 40 lambdas. (b) Simulación 128 lambdas.

3.3 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN

En la simulación con capacidad de 40 lambdas, fue indispensable el uso de compensadores de dispersión en los enlaces de mayor distancia, ya que al ensancharse el pulso de la señal, puede interferir o sobrelaparse a los canales contiguos.

Este efecto de ensanchamiento, afecta el factor de calidad y a la tasa de bits errados BER, ubicando en valores inferiores a 5 para el factor de calidad y valores

superiores a 1×10^{-8} para el BER, con estos valores mencionados, la señal tiene problemas para entregar la información correcta, fiable y sin errores.

Este escenario se complica al aumentar la capacidad a 128 longitudes de onda, dado por la reducción del espaciamiento de los canales de 100 GHz a 50 GHz, y por el ancho espectral de la señal óptica de salida.

Partiendo de estos parámetros, se realiza la simulación a 128 longitudes de onda, con el mismo número de compensadores de dispersión y dentro de las mismas ubicaciones en la red.

El resultado demostró que en los tramos con compensadores de dispersión, la señal alcanzaba al receptor, pero con valores bajos y factor de calidad y altos en tasa de bits errados, mientras que; en los tramos sin compensación de dispersión, simplemente la señal llegó con errores y deformaciones.

Se realiza una segunda simulación, incluyendo compensadores de dispersión en todos los enlaces ópticos, con valores obtenidos de los cálculos realizados en el capítulo 2, utilizando un ancho espectral de 10 pm, los resultados obtenidos, permiten observar una mejora en el factor de calidad y en la tasa de bits errados, sin embargo estos valores no son lo eficientemente adecuados, para el correcto desempeño de la red.

Basado en los resultados de las simulaciones anteriores, se plantea recalcular los valores de dispersión cromática de los compensadores, cambiando el valor de ancho espectral de 10 pm a 5 pm, para los enlaces ópticos, en los que se colocó el compensador de dispersión, dentro de la simulación a 128 longitudes de onda; y

manteniendo el mismo valor de dispersión cromática, para los enlaces que desde el inicio contaban con dichos compensadores implementados.

En la siguiente expresión se realiza el cálculo para definir el valor del ensanchamiento del pulso, tomando en cuenta un enlace óptico que no posee compensador de dispersión, en donde la dispersión cromática es $4 \frac{ps}{nm * Km}$, la longitud del enlace es de 114,49 km y un ancho espectral de 5 pm.

$$\Delta T = M_{\lambda} * L * \Delta_{\lambda}$$

$$\Delta T = 4 \frac{ps}{nm * Km} * 114.49 Km * 0,005 nm$$

$$\Delta T = 2.28 ps$$

Con el valor obtenido del ensanchamiento del pulso, se determina el valor de la dispersión cromática que debe tener el compensador, con una distancia de 1 km y asignando un valor de ancho espectral del láser, correspondiente a la mitad del valor que fue considerado en la simulación a 40 longitudes de onda, es decir 5 pm

$$M_{\lambda} = \frac{\Delta T}{L * \Delta_{\lambda}}$$

$$M_{\lambda} = \frac{2.28 ps}{1 Km * 0,005 nm}$$

$$M_{\lambda} = 924 \frac{ps}{nm * Km}$$

En la tabla 3.3, se puede apreciar los valores de dispersión cromática, aplicados en cada uno de los compensadores de dispersión, tanto en la simulación

de 40 lambdas, como en los escenarios resultantes de la simulación de 128 longitudes de onda.

SIMULACIÓN		40 Lambdas	128 Lambdas	
			Ancho Espectral de 10 pm	Ancho Espectral de 5 pm
TRAMO	Longitud (km)	Anchura del Pulso (ps)	Anchura del Pulso (ps)	Anchura del Pulso (ps)
Quito - Santo Domingo	231	9,24	9,24	4,62
Santo Domingo - Quevedo	114,49	-	4,58	2,29
Quevedo - Babahoyo	114,93	-	4,60	2,30
Babahoyo - Guayaquil	117	-	4,68	2,34
Guayaquil - Machala	194,78	7,79	7,79	3,90
Machala - Cuenca	146	-	5,84	2,92
Cuenca - Cañar	63,97	-	2,56	1,28
Cañar - Riobamba	244,87	9,79	9,79	4,90
Riobamba - Ambato	71,79	-	2,87	1,44
Ambato - Quito	218,52	8,74	8,74	4,37

*Conservan los valores de dispersión cromática con un ancho espectral de 10 pm.

TABLA 3.2.- Valores de dispersión cromática calculados para los compensadores utilizados en la simulación a 128 longitudes de onda.

Asignados estos valores de dispersión cromática dentro de los compensadores del simulador, arrojaron resultados óptimos, obteniendo un factor de calidad que supera el valor de 5 y una la tasa de bits errados, no es superior a 1×10^{-9} por canal. Esto permite que la red asegure una alta disponibilidad y que la señal de información llegue sin errores.

3.4 ANÁLISIS DE ESPECTRO DE FRECUENCIA Y TASA DE BIT ERRADO (BER).

Los analizadores de espectro incorporados dentro del simulador, permiten apreciar el espectro óptico de la señal que se propaga por la fibra óptica, la simulación a 40 longitudes de onda tiene un espectro de frecuencia que va desde los 193,1 THz hasta los 197 THz, con una separación de 100 GHz, ocupan la banda de operación C. Cuando se realiza una ampliación de capacidad, para este caso, la red aumenta de 40 a 128 longitudes de onda, ahora su espectro de frecuencia va desde los 189,7 THz hasta los 196,05 THz, con una separación de 50 GHz y ocupan la banda C y L.

En la figura 3.3, se muestran los espectros de frecuencia a la salida del multiplexor, para la capacidad de 40 longitudes de onda, como para la capacidad de 128 longitudes de onda.

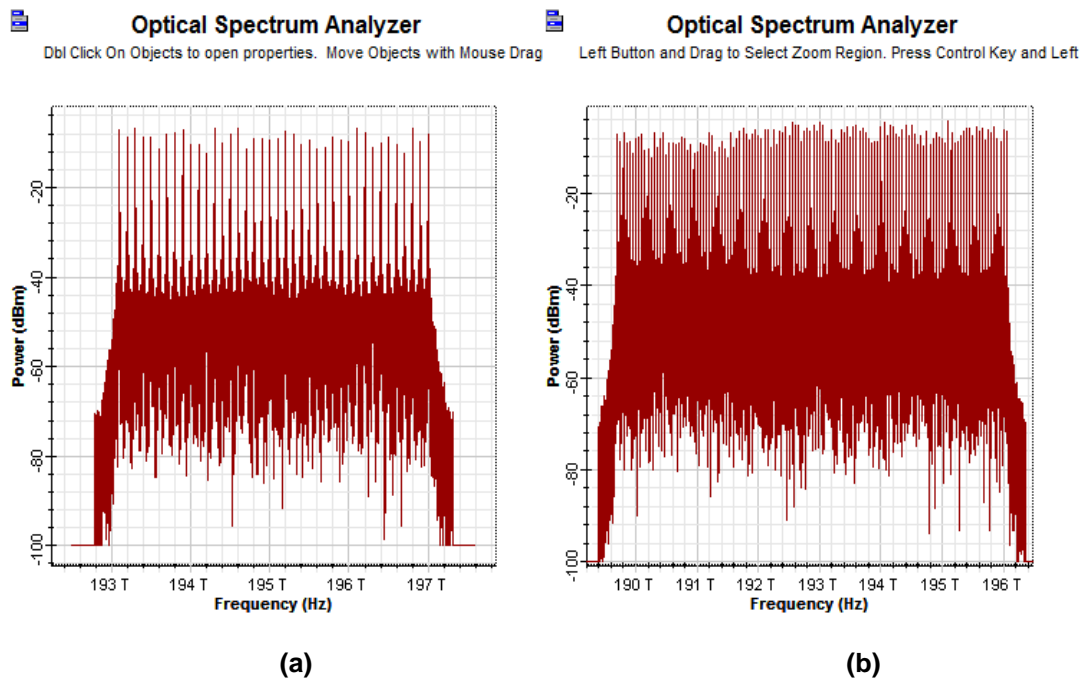


FIGURA 3.3: Espectro de frecuencia a la salida del multiplexor. (a) Simulación 40 lambdas. (b) Simulación 128 lambdas.

Al realizar una comparación de los espectros para ambas capacidades, se observa la alta densidad y poco espaciamiento de las 128 longitudes de onda, a diferencia de las 40 longitudes de onda de la simulación inicial.

Esto demuestra que se puede realizar una transmisión de señales ópticas, con un menor espaciamiento y niveles de potencia similares, procurando mantener a los canales dentro de los niveles óptimos de potencias, que el nivel de OSNR sea el mismo o mayor y minimizar las pérdidas por anchura del pulso.

De esta forma en la figura 3.4, se puede observar el espectro de frecuencia a la entrada del demultiplexor para ambas capacidades.

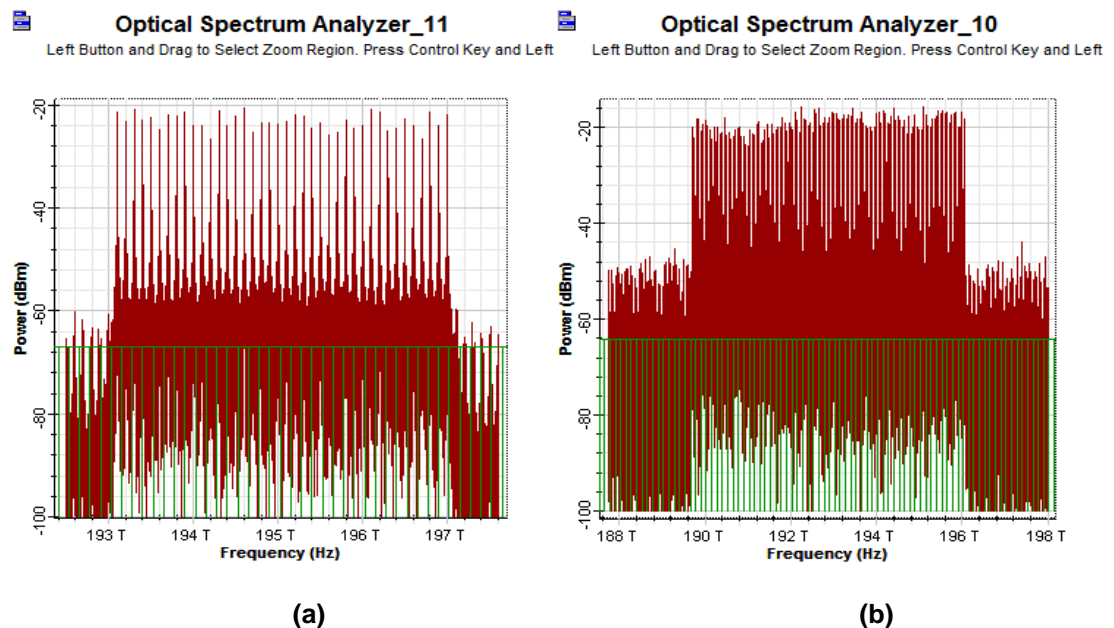


FIGURA 3.4: Espectro de frecuencia a la entrada del demultiplexor. (a) Simulación 40 lambdas. (b) Simulación 128 lambdas.

En la figura 3.5, se muestra la separación entre canales para 40 y 128 longitudes de onda.

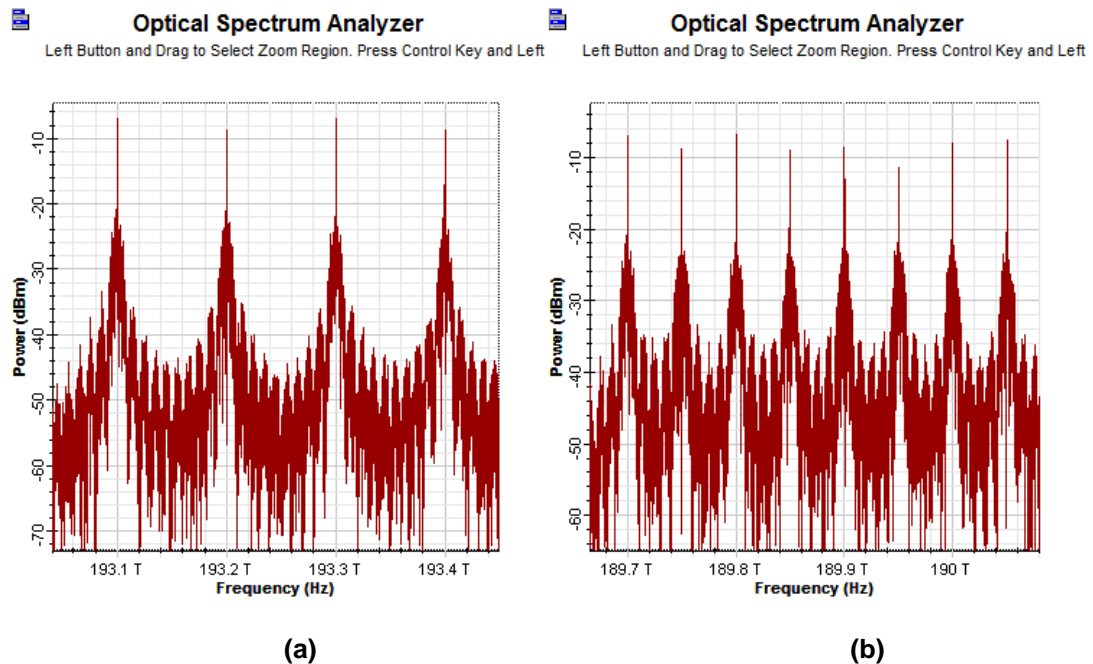


FIGURA 3.5: Espectro de frecuencia, espaciamiento de longitudes de onda. (a) Simulación 40 lambdas. (b) Simulación 128 lambdas.

Por parte del análisis de la tasa de bits errados (BER), se toma con referencia los simuladores de instrumentos, como el analizador de BER y el analizador del diagrama del ojo que posee el software OptiSystem, en el cual muestra valores de factos de calidad superiores a 5 y niveles de BER inferiores a 1×10^{-9} .

En la figura 3.6, se puede apreciar los niveles de BER y el diagrama del ojo de una muestra de receptores ópticos en los nodos Santo Domingo, Quevedo y Babahoyo, provenientes desde el Core Quito, de la simulación a 128 longitudes de onda.

En la figura 3,7 se observan los valores de factor de calidad y tasa de bits errados BER, de una muestra de receptores en el Core Guayaquil, provenientes de los nodos Santo Domingo, Quevedo y Babahoyo.

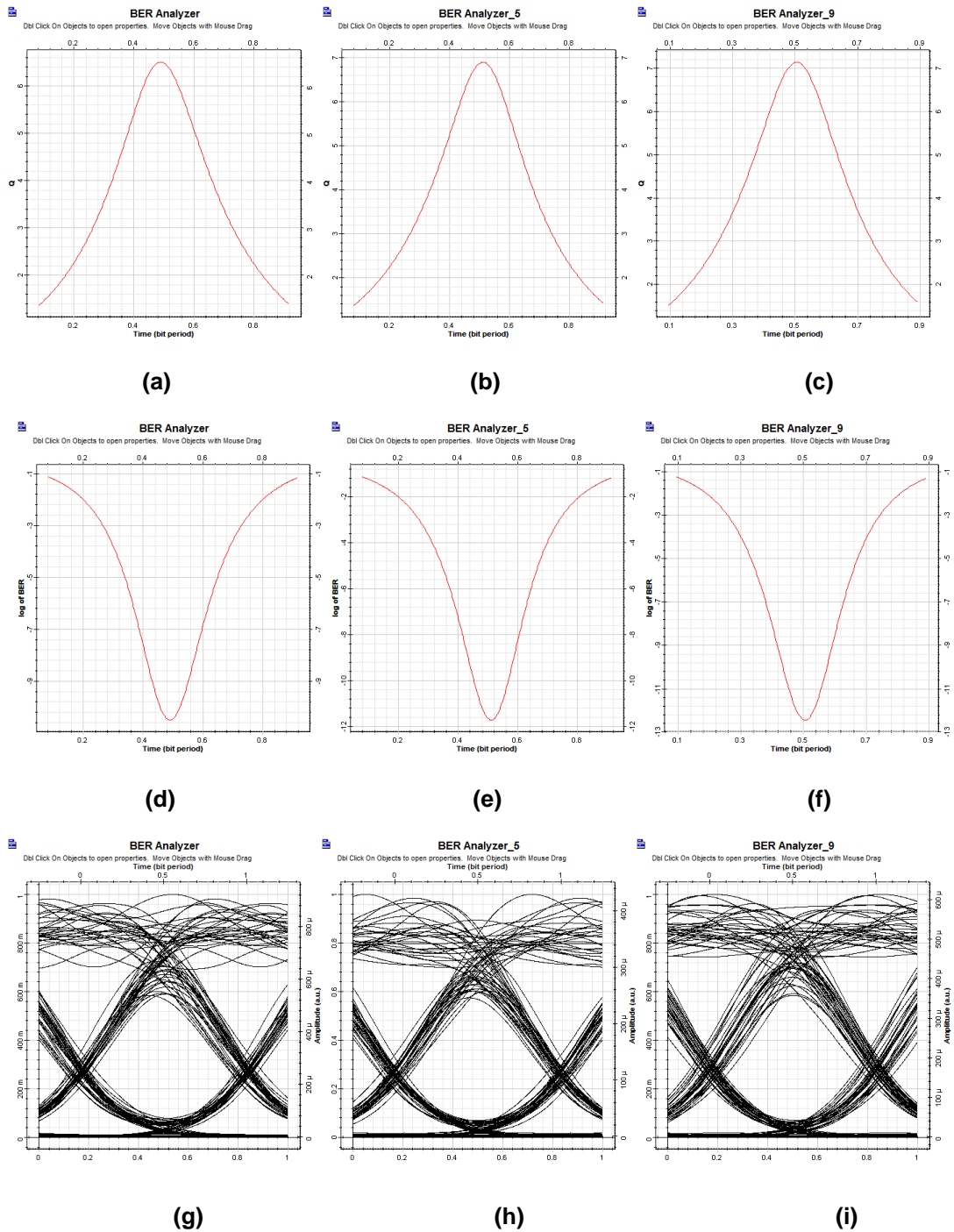


FIGURA 3.6: Curva de factor de calidad. (a) Canal 1 Santo Domingo. (b) Canal 2 Quevedo. (c) Canal 3 Babahoyo. Tasa de bits errados BER. (d) Canal 1 Santo Domingo. (e) Canal 2 Quevedo. (f) Canal 3 Babahoyo. Diagrama del ojo (g) Canal 1 Santo Domingo. (h) Canal 2 Quevedo. (i) Canal 3 Babahoyo

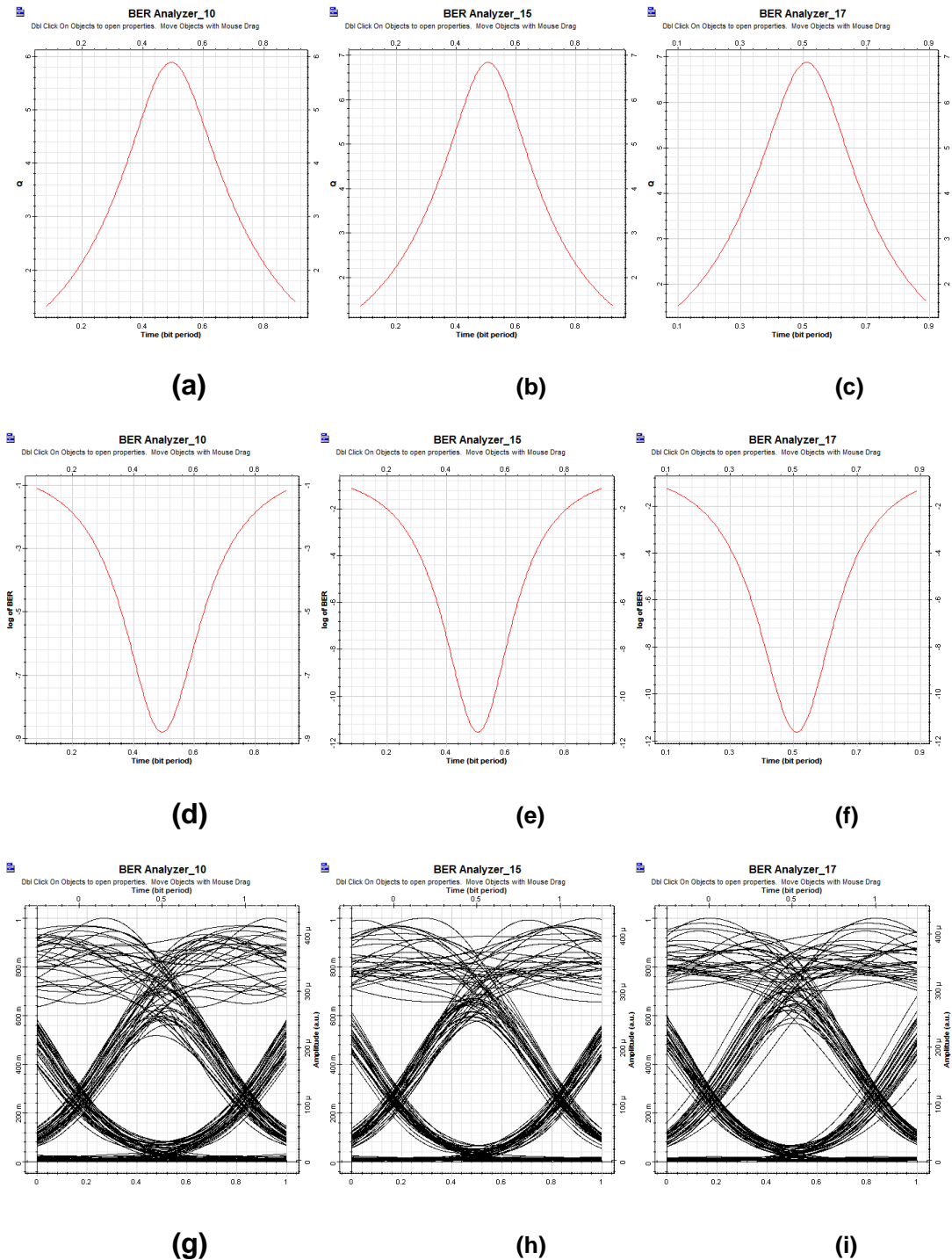


FIGURA 3.7: Curva de factor de calidad en el Core Guayaquil. (a) Canal 1 Santo Domingo. (b) Canal 5 Quevedo. (c) Canal 7 Babahoyo. Tasa de bits errados BER. (d) Canal 1 Santo Domingo. (e) Canal 5 Quevedo. (f) Canal 7 Babahoyo. Diagrama del ojo (g) Canal 1 Santo Domingo. (h) Canal 5 Quevedo. (i) Canal 7 Babahoyo.

En la figura 3.8, se aprecia el valor de factor de calidad y tasa de bits errados, para una canal que cubre el ramal costa, desde el Core Quito hasta el Core Guayaquil.

Los resultados obtenidos en la simulación a 128 longitudes de onda, demuestran que los niveles de factor de forma y tasa de bits errados BER, son óptimos para la transmisión de información, el diagrama del ojo tiene una definición adecuada.

Estos niveles pueden sufrir pérdidas y descensos debidos a factores externos, como atenuaciones por deformación de la fibra óptica o excesivo número de empalmes ópticos dentro de uno o varios tramos del tendido del cable. Por esta razón se debe realizar un mantenimiento continuo de la red, ya que el incremento de la capacidad, demanda un mayor control del estado de la red, tanto en equipamiento como en el medio de transmisión.

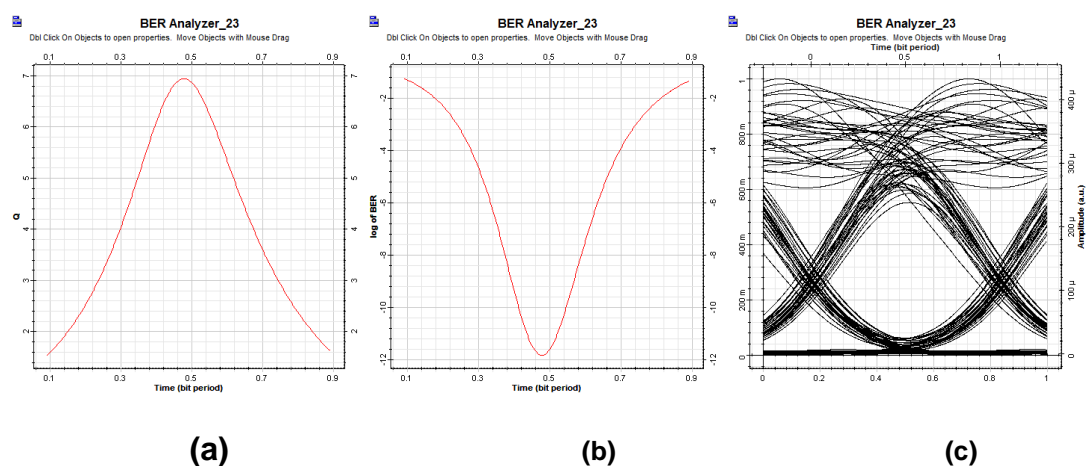


FIGURA 3.8: (a) Curva de factor de calidad del Canal 13 entre Quito y Guayaquil. (b) Tasa de bits errados BER del Canal 13 entre Quito y Guayaquil. (c) Diagrama del ojo del Canal 13 entre Quito y Guayaquil

3.5 ANÁLISIS CORRECTIVOS SOBRE PARÁMETROS GENERALES DE LA RED.

Una vez realizada la simulación con los cambios, en los equipos Mux y Demux, incrementado las longitudes de onda de 40 a 128, modificando los valores de ganancia en los amplificadores de las estaciones repetidoras, implementado una serie de compensadores de dispersión cromática, dentro de los enlaces ópticos, que carecen del mismo y con la asignación del nuevo plan de frecuencias para cada uno de los canales. La red DWDM ha sido sometida a modificaciones importantes, desde el punto de vista de equipamiento, sin embargo el medio de transmisión no tiene alteraciones.

La gran ventaja de la incremento de capacidad, radica en que el medio de transmisión se mantiene igual, no requiere cambios de tipo de fibra, no requiere reconfiguraciones en el trazado de su ruta, en definitiva, se optimiza la fibra óptica.

Dado que las operadores de servicios de telecomunicaciones, tiene su tendido de cables de fibra óptica vía aérea y bajo la superficie (enterrado), con un capacidad de 24, 48 y 72 hilos de fibra óptica por cable, permite tener una alta disponibilidad de fibras de respaldo, protección, e incluso una nueva red paralela a su red actual.

Dentro de los parámetros de configuración que deben ser modificados para el correcto funcionamiento de la Red DWDM operando a 128 longitudes de onda son:

- Cambio de la asignación de longitudes de onda en cada uno de los transmisores, multiplexores, demultiplexores y filtros del receptor.
- Modificación en los valores de ganancia de los amplificadores en las estaciones repetidoras.

- Implementación de módulos compensadores de dispersión cromática en los enlaces ópticos que no posean los mismos.
- Adaptación de niveles de potencia ecualizados, a partir del manejo de atenuaciones dentro de los multiplexores.

3.6 ANÁLISIS DE ESCALABILIDAD DE LA RED.

Los resultados obtenidos en la simulación a 40 longitudes de onda, muestran un contexto óptimo, para que los canales no tengan problemas con niveles de potencia bajos o tasa de bits errados muy altas, la red es estable y en un escenario ideal sus desempeño es correcto, sin embargo en un escenario real, hay que tomar en cuenta muchos factores, como el equipamiento, el mismo que mantendrá un funcionamiento uniforme, el medio de transmisión, que estará en continuo monitoreo, para evitar atenuaciones o cortes de señal, debido a rupturas o cortes.

Al efectuar la simulación a 128 longitudes de onda, se obtienen resultados alentadores; para una futura implantación del mismo. Los cambios aplicados a los diferentes parámetros de amplificación de la señal, como la implementación de más dispositivos, una revisión de los parámetros de atenuación de la señal y ecualización de los canales, muestran que es viable la escalabilidad de la red.

En un ambiente simulado, las condiciones ideales que ofrece el software, determinan que las modificaciones pueden realizarse en un escenario real, cada uno de los cambios, se convierten en acciones para ser implementados en una red en funcionamiento, sin perder de vista; que los factores externos no solo afectan al medio de transmisión sino también a los equipos, y deben ser sujetos a un plan riguroso de operación y mantenimiento.

En el plano real, la escalabilidad de la red es viable, si bien en el mercado no existe un amplio espectro de opciones de equipos que manejen las capacidades sugeridas en este proyecto, al momento hay una oferta limitada de equipos que manejan hasta 160 longitudes de onda, fabricado y distribuido por las grandes empresas de telecomunicaciones.

3.7 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD CON EQUIPAMIENTO DISPONIBLE EN EL MERCADO.

En la actualidad las empresa fabricantes de equipos de telecomunicaciones como: Huawei, NSN (Nokia Siemens Networks), NEC, ZTE, Ericsson, Alcatel, entre otras, ofrecen una amplia gama de equipos DWDM, que manejan una capacidad de 40 lambdas, que soportan velocidad de transmisión de tecnologías de transporte como SDH, SONET, ATM y Ethernet, a tasas de transferencia desde 1Gbps hasta 40Gbps.

La operadoras en el país, tiene sus redes DWDM con una capacidad de 40 lambdas, de las cuales ocupan alrededor del 80%. Sin embargo han comenzado la implementación del programa de aplicación da capacidad, para alcanzar las 8º lambdas, que supone un capacidad aproximada de 3,2 Tbps, en la cual no solamente estarán los canales de datos de clientes corporativos, sino también la red de acceso de fibra óptica como FTTH o GPON y redes de acceso inalámbricas como UMTS y LTE.

Al momento la investigación para la fabricación de equipos que superen la capacidad de 80 lambdas, está en franco desarrollo, es por esto que ciertas empresas de telecomunicaciones han sacado al mercado equipos que tiene

capacidades entre 80 y 160 lambdas, con mejoras sustanciales, versus las versiones anteriores de 40 lambdas.

Mencionando algunos de los equipos que el mercado oferta, el Huawei BSW 1600G, es un equipo de transporte multiservicios, puede ajustarse a capacidades de 40, 80, 120 y 160 lambdas, operando en la banda C extendida, con separación entre canales de 50 GHz y velocidades de transmisión de 10 Gbps para 160 canales y 40 Gbps para 80 canales. Soporta servicios de datos Gigaethernet y OTU1, OTU 2 y OTU 3 incluyendo velocidades binarias desde 34 Mbps a 2,7 Gbps.

También existe en el mercado el NEC Spectralwave 160, que es un multiplexor DWDM con capacidades hasta 160 canales con 50 GHz de separación entre canales, para 160 canales con velocidades hasta 10Gbps y para 80 canales con velocidades hasta 40 Gbps, opera en las bandas C y L.

Otra opción es el hiT7500 de NSN, que es un multiplexor DWDM con características similares a los anteriores, maneja señales de información OTU, SDH, SONET, Etehernet, con capacidades de 10 Gbps a 40 Gbps.

Si bien el mercado ofrece equipamiento que se ajusta con la capacidad simulada de 128 longitudes de onda, hay que tomar en cuenta que la sugerencia de equipamiento, debe tener correspondencia a los equipos que en la actualidad, las operadoras tiene instalados para sus redes. En el Ecuador las tres operadoras móviles CNT, Claro y Movistar, poseen equipos de la marca Huawei en sus redes DWDM, en consecuencia, la sugerencia es analizar si los equipos Huawei DWDM operativos, permiten realizar actualizaciones de hardware y software, en primera instancia para actualización de 40 a 80 longitudes de onda y posteriormente de 80 a 160 longitudes de onda.

Al ser equipos que constantemente son actualizados de fábrica, la probabilidad es muy alta de que puedan alcanzar el manejo de mayor capacidad con módulos, tarjetas y shelves complementarios. Sin embargo al ser una red que opera con una sola fibra óptica, existen varias fibras que en la actualidad tienen servicios SDH o a su vez están libres, lo que permite una sugerencia de red paralela de mayor capacidad, dado que los equipos no representan la inversión total en una red DWDM, se puede manejar un presupuesto para la integración de una nueva red DWDM de 128 longitudes de onda, paralela a la red actual.

Por consiguiente sea cualquiera de los escenarios propuestos, son viables y recomendables al momento de incrementar la capacidad de la red DWDM.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Dentro de la simulación de ambos escenarios, es obligatorio que todos los canales estén habilitados y transmitiendo, esto dista de una red operativa, ya que es muy probable que existan canales libres o sin servicios asignados. Sin embargo, esta particularidad del simulador puede ser aprovechada, para probar la red a máxima potencia de transmisión, y verificar su adecuado funcionamiento.
- Para mantener un nivel potencia óptimo en la red DWDM operando a 128 longitudes de onda, es necesario aumentar la potencia de transmisión, con el fin de que este incremento se refleje en la potencia de recepción, asegurando que la red no experimente pérdidas de servicios de datos.
- El ancho espectral del láser tiene mucha injerencia en la calidad de la transmisión de información. Al efectuar una transmisión a 128 longitudes de onda, se precisa el uso de transmisores laser con un mejor ancho espectral, con el fin de mantener niveles óptimos de factor de calidad y BER.
- Para garantizar la calidad de los servicios transmitidos dentro de una red DWDM operando en 128 longitudes de onda, se debe implementar compensadores de dispersión cromática en cada enlace óptico, para minimizar los efectos de degradación de los pulsos por ensanchamiento.
- Los equipos DWDM disponibles en el mercado, solventan correctamente los resultados obtenidos en este proyecto, por lo cual es factible la

implementación de upgrades sobre equipos operativos o a su vez la ejecución de una red nueva paralela a la actual que opere con 128 longitudes de onda.

- A través de los resultados obtenidos por simulación en donde se determina el impacto de los efectos del canal en una transmisión con 128 longitudes de onda, puede verificarse que a través del empleo de dispositivos con características apropiadas, tales como láseres con ancho espectral angosto, y de técnicas de compensación adecuada, tales como amplificación y corrección de dispersión, el sistema con capacidad de 128 longitudes de onda propuesto en el presente proyecto es plenamente factible.

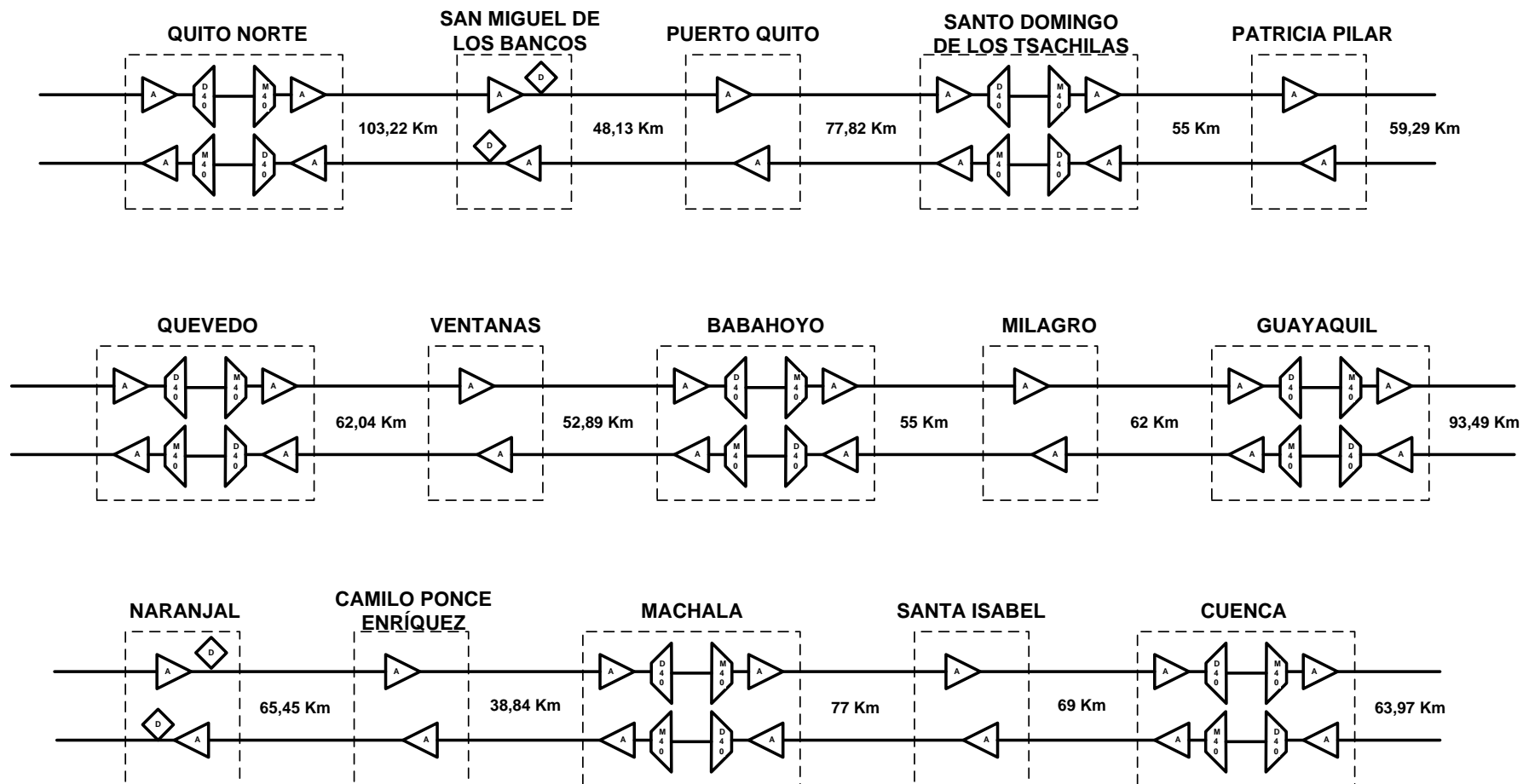
4.2 RECOMENDACIONES

- Cuando se tiene un esbozo de una red de transmisiones, esta se encuentra en la etapa de diseño, por lo que se recomienda el uso de un simulador, para tener una aproximación de la viabilidad de dicho diseño y comprobar su posible funcionamiento.
- En la actual situación de las redes ópticas, se cuenta con tendido de cables de fibra, que en su interior poseen 12, 24, 48 y 72 hilos de fibra óptica. Para mantener una alta disponibilidad de los enlaces ópticos DWDM, se recomienda el correcto mantenimiento de los hilos de fibra óptica desocupados y disponibles, para efectos de back up o migración.
- Si una red DWDM es un backbone entre estaciones terminales en sus extremos, se recomienda el diseño y la implementación de una sistema redundante (Topología Anillo), si ya posee esta topología, se recomienda un análisis de tráfico, para segmentar el anillo principal en dos o tres anillos secundarios, con el fin de mantener una alta disponibilidad de los servicios de datos y comunicaciones.

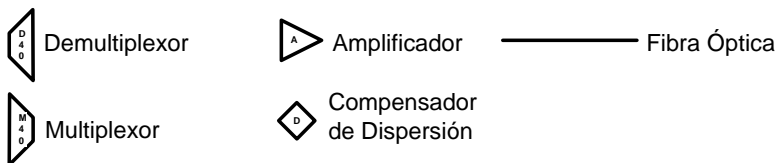
- Cuando una enlace de fibra óptica ha sufrido varios cortes del cable de fibra óptica, se procede a realizar empalmes de fusión, con el fin de restaurar dicho enlace, sin embargo esta acumulación de empalmes producen un incremento en el nivel de atenuación y por consiguiente y una pérdida en los niveles de potencia de recepción, se recomienda el análisis de atenuaciones por empalmes dentro de un cable de fibra óptica, para implementar un plan de cambio sobre tramos afectados o a su vez cambio de la longitud total del cable de fibra óptica dentro de un enlace óptico, siempre y cuando el enlace no tenga una gran longitud.
- Antes de realizar una ampliación de la capacidad de la red, se recomienda revisar la compatibilidad de los equipos existentes en la red, para una actualización que soporte módulos adicionales, shelves extras, entre otros, para el incremento de la capacidad. Si la empresa proveedora de equipos, ofrece estas actualizaciones, el costo será moderado, caso contrario se incrementará sustancialmente.

ANEXOS

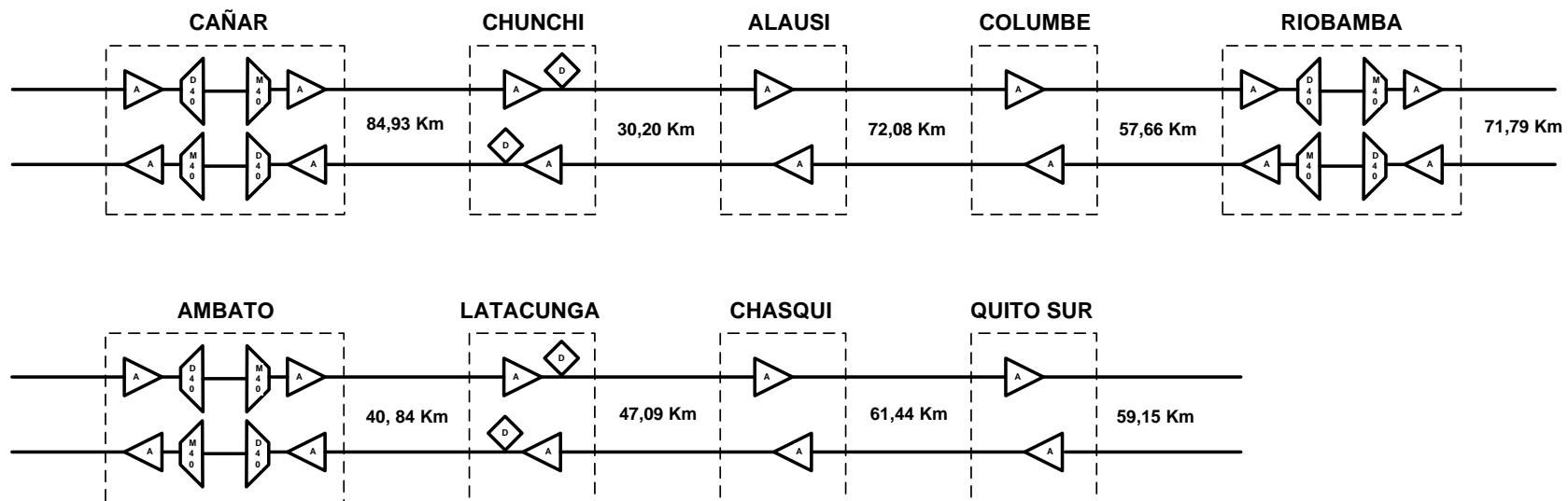
ANEXOS 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA RED DWDM NACIONAL



SIMBOLOGÍA



ELABORÓ: David Cando Garzón		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR	
REVISÓ: Ing. Germán Arévalo PhD	PAG	DIAGRAMA DE BLOQUES DE RED DWDM NACIONAL	
FECHA: 05-04-2015	ESCALA: 1:1		
		1/2	

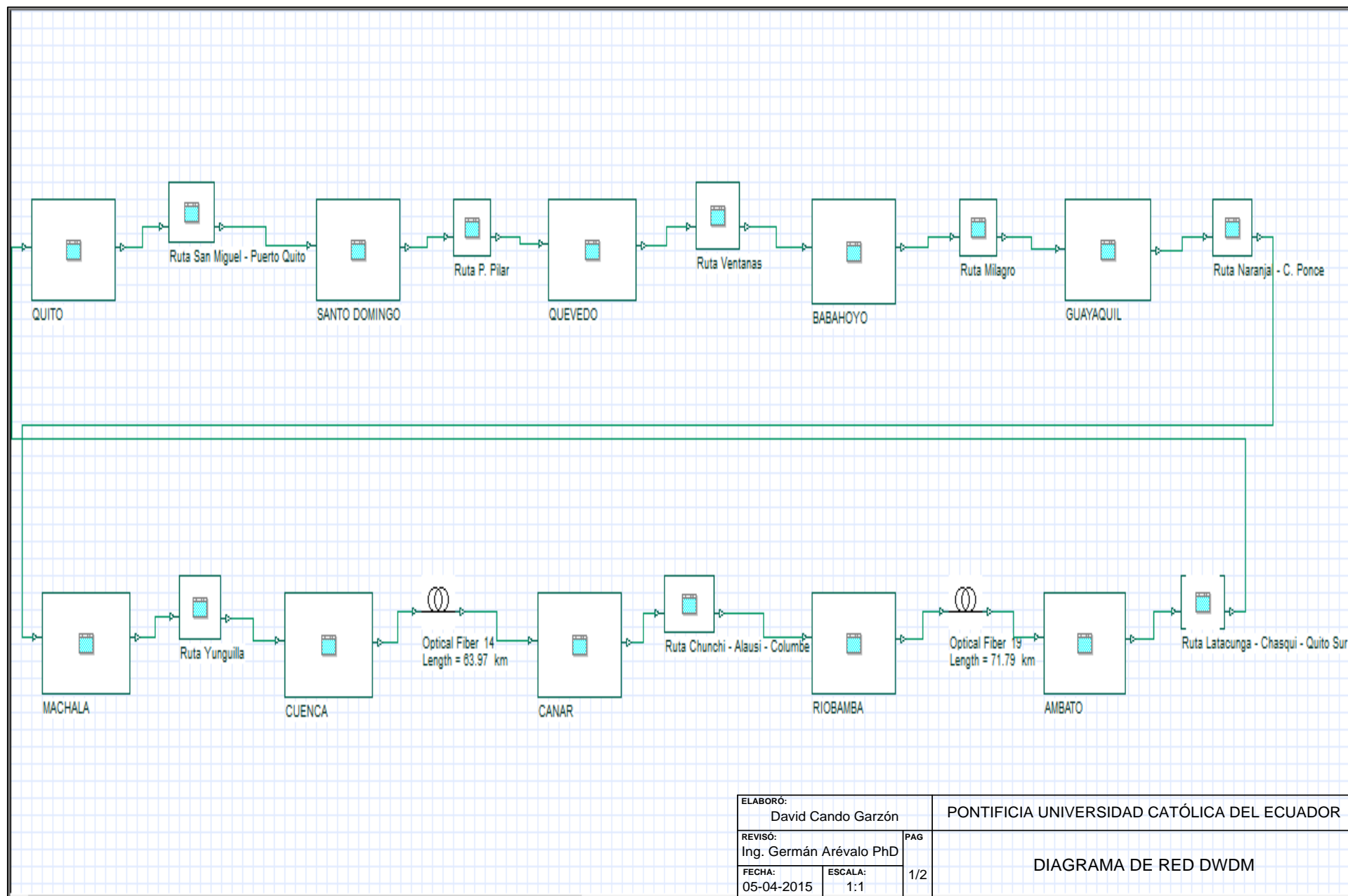


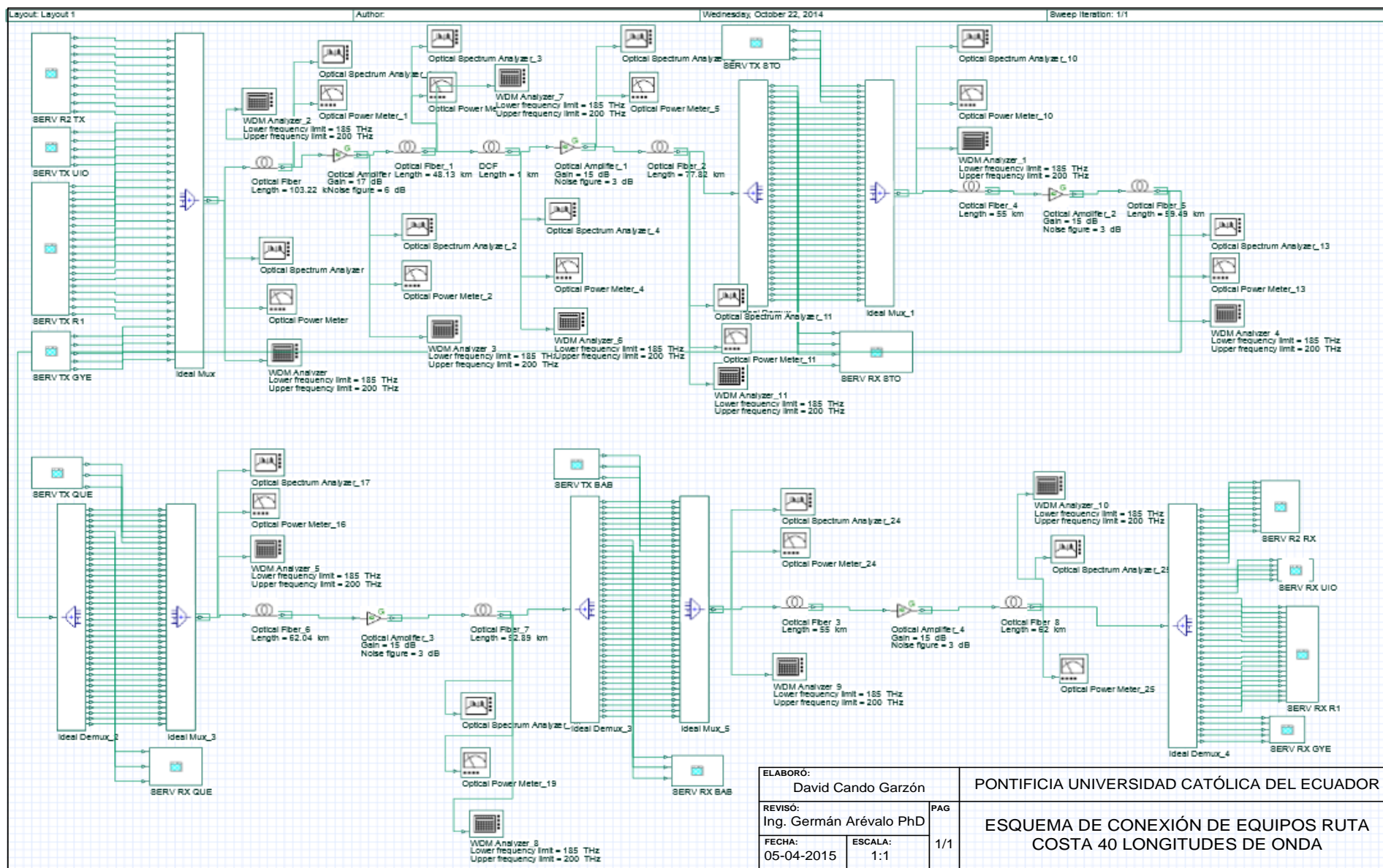
SIMBOLOGÍA



ELABORÓ: David Cando Garzón		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR	
REVISÓ: Ing. Germán Arévalo PhD	PAG	DIAGRAMA DE BLOQUES DE RED DWDM NACIONAL	
FECHA: 05-04-2015	ESCALA: 1:1		
		2/2	

ANEXOS 2 DIAGRAMAS DE RED DWDM OPTISYSTEM





ANEXOS 3 GRID DWDM

DWDM ITU Grid Specification

	S-Band				C-Band				L-Band			
	100 GHz Grid		50 GHz Offset		100 GHz Grid		50 GHz Offset		100 GHz Grid		50 GHz Offset	
	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz
1	1490.76	201.10	1491.13	201.05	1528.77	196.10	1529.16	196.05	1568.77	191.10	1569.18	191.05
2	1491.50	201.00	1491.88	200.95	1529.55	196.00	1529.94	195.95	1569.59	191.00	1570.01	190.95
3	1492.25	200.90	1492.62	200.85	1530.33	195.90	1530.72	195.85	1570.42	190.90	1570.83	190.85
4	1492.99	200.80	1493.36	200.75	1531.12	195.80	1531.51	195.75	1571.24	190.80	1571.65	190.75
5	1493.73	200.70	1494.11	200.65	1531.90	195.70	1532.29	195.65	1572.06	190.70	1572.48	190.65
6	1494.48	200.60	1494.85	200.55	1532.68	195.60	1533.07	195.55	1572.89	190.60	1573.30	190.55
7	1495.22	200.50	1495.60	200.45	1533.47	195.50	1533.86	195.45	1573.71	190.50	1574.13	190.45
8	1495.97	200.40	1496.34	200.35	1534.25	195.40	1534.64	195.35	1574.54	190.40	1574.95	190.35
9	1496.72	200.30	1497.09	200.25	1535.04	195.30	1535.43	195.25	1575.37	190.30	1575.78	190.25
10	1497.46	200.20	1497.84	200.15	1535.82	195.20	1536.22	195.15	1576.20	190.20	1576.61	190.15
11	1498.21	200.10	1498.59	200.05	1536.61	195.10	1537.00	195.05	1577.03	190.10	1577.44	190.05
12	1498.96	200.00	1499.34	199.95	1537.40	195.00	1537.79	194.95	1577.86	190.00	1578.27	189.95
13	1499.71	199.90	1500.09	199.85	1538.19	194.90	1538.58	194.85	1578.69	189.90	1579.10	189.85
14	1500.46	199.80	1500.84	199.75	1538.98	194.80	1539.37	194.75	1579.52	189.80	1579.93	189.75
15	1501.21	199.70	1501.59	199.65	1539.77	194.70	1540.16	194.65	1580.35	189.70	1580.77	189.65
16	1501.97	199.60	1502.34	199.55	1540.56	194.60	1540.95	194.55	1581.18	189.60	1581.60	189.55
17	1502.72	199.50	1503.10	199.45	1541.35	194.50	1541.75	194.45	1582.02	189.50	1582.44	189.45
18	1503.47	199.40	1503.85	199.35	1542.14	194.40	1542.54	194.35	1582.85	189.40	1583.27	189.35
19	1504.23	199.30	1504.60	199.25	1542.94	194.30	1543.33	194.25	1583.69	189.30	1584.11	189.25
20	1504.98	199.20	1505.36	199.15	1543.73	194.20	1544.13	194.15	1584.53	189.20	1584.95	189.15
21	1505.74	199.10	1506.12	199.05	1544.53	194.10	1544.92	194.05	1585.36	189.10	1585.78	189.05
22	1506.49	199.00	1506.87	198.95	1545.32	194.00	1545.72	193.95	1586.20	189.00	1586.62	188.95
23	1507.25	198.90	1507.63	198.85	1546.12	193.90	1546.52	193.85	1587.04	188.90	1587.46	188.85
24	1508.01	198.80	1508.39	198.75	1546.92	193.80	1547.32	193.75	1587.88	188.80	1588.30	188.75
25	1508.77	198.70	1509.15	198.65	1547.72	193.70	1548.11	193.65	1588.73	188.70	1589.15	188.65
26	1509.53	198.60	1509.91	198.55	1548.51	193.60	1548.91	193.55	1589.57	188.60	1589.99	188.55
27	1510.29	198.50	1510.67	198.45	1549.32	193.50	1549.72	193.45	1590.41	188.50	1590.83	188.45
28	1511.05	198.40	1511.43	198.35	1550.12	193.40	1550.52	193.35	1591.26	188.40	1591.68	188.35
29	1511.81	198.30	1512.19	198.25	1550.92	193.30	1551.32	193.25	1592.10	188.30	1592.52	188.25
30	1512.58	198.20	1512.96	198.15	1551.72	193.20	1552.12	193.15	1592.95	188.20	1593.37	188.15
31	1513.34	198.10	1513.72	198.05	1552.52	193.10	1552.93	193.05	1593.79	188.10	1594.22	188.05
32	1514.10	198.00	1514.49	197.95	1553.33	193.00	1553.73	192.95	1594.64	188.00	1595.06	187.95
33	1514.87	197.90	1515.25	197.85	1554.13	192.90	1554.54	192.85	1595.49	187.90	1595.91	187.85
34	1515.63	197.80	1516.02	197.75	1554.94	192.80	1555.34	192.75	1596.34	187.80	1596.76	187.75
35	1516.40	197.70	1516.78	197.65	1555.75	192.70	1556.15	192.65	1597.19	187.70	1597.62	187.65
36	1517.17	197.60	1517.55	197.55	1556.56	192.60	1556.96	192.55	1598.04	187.60	1598.47	187.55
37	1517.94	197.50	1518.32	197.45	1557.36	192.50	1557.77	192.45	1598.89	187.50	1599.32	187.45
38	1518.71	197.40	1519.09	197.35	1558.17	192.40	1558.58	192.35	1599.75	187.40	1600.17	187.35
39	1519.48	197.30	1519.86	197.25	1558.98	192.30	1559.39	192.25	1600.60	187.30	1601.03	187.25
40	1520.25	197.20	1520.63	197.15	1559.79	192.20	1560.20	192.15	1601.46	187.20	1601.88	187.15
41	1521.02	197.10	1521.40	197.05	1560.61	192.10	1561.01	192.05	1602.31	187.10	1602.74	187.05
42	1521.79	197.00	1522.18	196.95	1561.42	192.00	1561.83	191.95	1603.17	187.00	1603.60	186.95
43	1522.56	196.90	1522.95	196.85	1562.23	191.90	1562.64	191.85	1604.03	186.90	1604.46	186.85
44	1523.34	196.80	1523.72	196.75	1563.05	191.80	1563.45	191.75	1604.88	186.80	1605.31	186.75
45	1524.11	196.70	1524.50	196.65	1563.86	191.70	1564.27	191.65	1605.74	186.70	1606.17	186.65
46	1524.89	196.60	1525.27	196.55	1564.68	191.60	1565.09	191.55	1606.60	186.60	1607.04	186.55
47	1525.66	196.50	1526.05	196.45	1565.50	191.50	1565.90	191.45	1607.47	186.50	1607.90	186.45
48	1526.44	196.40	1526.83	196.35	1566.31	191.40	1566.72	191.35	1608.33	186.40	1608.76	186.35
49	1527.22	196.30	1527.60	196.25	1567.13	191.30	1567.54	191.25	1609.19	186.30	1609.62	186.25
50	1527.99	196.20	1528.38	196.15	1567.95	191.20	1568.36	191.15	1610.06	186.20	1610.49	186.15

Dense Wave Division Multiplexing (DWDM)

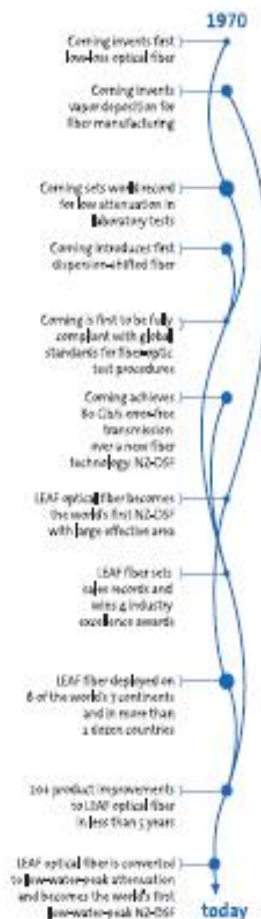
ITU Grid: C-Band, 100 GHz Spacing

Channel (#)	Frequency (GHz)	Wavelength (nm)	Channel (#)	Frequency (GHz)	Wavelength (nm)
1	190100	1577.03	37	193700	1547.72
2	190200	1576.03	38	193800	1546.92
3	190300	1575.37	39	193900	1546.12
4	190400	1574.54	40	194000	1545.32
5	190500	1573.71	41	194100	1544.53
6	190600	1572.89	42	194200	1543.73
7	190700	1572.06	43	194300	1542.94
8	190800	1571.24	44	194400	1542.14
9	190900	1570.42	45	194500	1541.35
10	191000	1569.59	46	194600	1540.56
11	191100	1568.11	47	194700	1539.77
12	191200	1567.95	48	194800	1538.98
13	191300	1567.13	49	194900	1538.19
14	191400	1566.31	50	195000	1537.40
15	191500	1565.50	51	195100	1536.61
16	191600	1564.68	52	195200	1535.82
17	191700	1563.86	53	195300	1535.04
18	191800	1563.05	54	195400	1534.25
19	191900	1562.23	55	195500	1533.47
20	192000	1561.42	56	195600	1532.68
21	192100	1560.61	57	195700	1531.90
22	192200	1559.79	58	195800	1531.12
23	192300	1558.98	59	195900	1530.33
24	192400	1558.17	60	196000	1529.55
25	192500	1557.36	61	196100	1528.77
26	192600	1556.56	62	196200	1527.99
27	192700	1555.75	63	196300	1527.22
28	192800	1554.94	64	196400	1526.44
29	192900	1554.13	65	196500	1525.66
30	193000	1553.33	66	196600	1524.89
31	193100	1552.52	67	196700	1524.11
32	193200	1551.72	68	196800	1523.34
33	193300	1550.92	69	196900	1522.56
34	193400	1550.12	70	197000	1521.79
35	193500	1549.32	71	197100	1521.02
36	193600	1548.52	72	197200	1520.25

Note: for 200 GHz spacing use either odd or even numbered channels.

ANEXOS 4 FIBRA ÓPTICA G.655 LEAF

Corning® LEAF® Optical Fiber Product Information



The Standard for Long-Haul Networks

In the race to satisfy the global demand for telecommunications bandwidth, the need for technically advanced, high-capacity networks is paramount. Since 1998, the world has relied on Corning® LEAF® optical fiber to transmit information at higher bit rates and over longer distances than ever before. Corning LEAF optical fiber is:

- The world's first large effective area, non-zero dispersion-shifted fiber (NZ-DSF)
- Optimized for long-haul and high-data-rate metro networks
- The world's most widely deployed NZ-DSF
- The industry leader in polarization mode dispersion (PMD) specifications, enabling evolution from today's 10 Gb/s networks to the 40 Gb/s systems of the future
- The world's first low-water-peak NZ-DSF
- In compliance with the industry's most stringent requirements, including:
 - ITU-T G.655 (Tables A, B, C, D)
 - IEC Specifications 60793-2-50 Type B4
 - TIA/EIA 492-EA00
 - Telcordia's GR-20

Telecommunications networks require high capacity and broad system flexibility in order to compete today and to meet the challenges of tomorrow. The technological strength of Corning LEAF optical fiber provides an advanced foundation for today's sophisticated networks and those of the future.

PI1107

ISSUED: MAY 2007
SUPERSEDES: JULY 2006

ISO 9001 REGISTERED



Optical Specifications

Fiber Attenuation

Maximum Attenuation	
Wavelength (nm)	Maximum Value (dB/km)
1383 ± 3*	± 0.4
1410	± 0.32
1450	± 0.26
1550	± 0.22
1625	± 0.24

*Attenuation values at this wavelength represent post-hydrogen aging performance.

Attenuation vs. Wavelength		
Range (nm)	Ref. λ (nm)	Max. α Difference (dB/km)
1525 – 1575	1550	0.02
1625	1550	0.03

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength (λ) by more than the value α.

Macro Bend Loss			
Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
32	1	1550 & 1625	± 0.50
60	100	1550 & 1625	± 0.05

*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

Point Discontinuity	
Wavelength (nm)	Point Discontinuity (dB)
1550	± 0.05

Mode-Field Diameter

Wavelength (nm)	MFD (μm)
1550	9.6 ± 0.4

Dispersion

Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm·km)]
1530 – 1565	2.0 – 6.0
1565 – 1625	4.5 – 11.2

Polarization Mode Dispersion (PMD)

Value (ps/√km)	
PMD Link Design Value	± 0.04*
Maximum Individual Fiber	± 0.1

*Complies with IEC 60794-3: 2001, Section 5.5, Method 1, (m = 20, Q = 0.01%), September 2001.

The PMD link design value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as PMD₀). This value represents a statistical upper limit for total link PMD. Individual PMD values may change when fiber is cabled. Corning's fiber specification supports emerging network design requirements for high-data-rate systems operating at 10 Gb/s rates and higher.

Dimensional Specifications

Glass Geometry

Fiber Curl	± 4.0 m radius of curvature
Cladding Diameter	125.0 ± 0.7 μm
Core-Clad Concentricity	± 0.5 μm
Cladding Non-Circularity	± 0.7%

Coating Geometry

Coating Diameter	245 ± 5 μm
Coating-Cladding Concentricity	< 12 μm

Environmental Specifications

Environmental Test	Test Condition	Induced Attenuation 1550 nm & 1625 nm (dB/km)
Temperature Dependence	-60°C to +85°C*	± 0.05
Temperature Humidity Cycling	-10°C to +85°C up to 98% RH	± 0.05
Water Immersion	23° ± 2°C	± 0.05
Heat Aging	85° ± 2°C*	± 0.05
Damp Heat	85°C at 85% RH	± 0.05

*Reference temperature = +23°C

Operating Temperature Range: -60°C to +85°C

Mechanical Specifications

Proof Test

The entire fiber length is subjected to a tensile stress ≈ 100 kpsi (0.7 GPa)*.

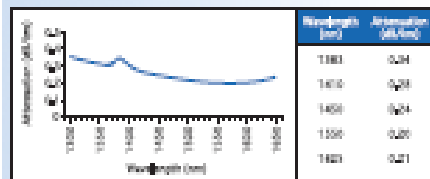
* Higher proof test levels available.

Performance Characterizations

Characterized parameters are typical values.

Numerical Aperture	0.14 <i>N.A. is measured at the one percent power level of a one-dimensional far-field scan at 1550 nm.</i>
Effective Area (A_{eff})	1550 nm: 72 μm^2
Effective Group Index of Refraction (N_{gr})	1550 nm: 1.468 1625 nm: 1.469
Fatigue Resistance Parameter (N_f)	20
Coating Strip Force	Dry: 0.6 lbs. (3N) Wet, 14-day room temperature: 0.6 lbs. (3N)
Rayleigh Backscatter Coefficient (for 1 ns Pulse Width)	1550 nm: -81 dB 1625 nm: -82 dB
Chromatic Dispersion	1550 nm at 4 ps/(nm-km) 1625 nm at 10 ps/(nm-km)

Spectral Attenuation (Typical Fiber)



Formulas

Dispersion

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \left(\frac{D(1565 \text{ nm}) - D(1530 \text{ nm})}{35} \right) \cdot (\lambda - 1565) + D(1565 \text{ nm})$$

λ = Operating Wavelength up to 1565 nm

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \left(\frac{D(1625 \text{ nm}) - D(1565 \text{ nm})}{60} \right) \cdot (\lambda - 1625) + D(1625 \text{ nm})$$

λ = Operating Wavelength from 1565 nm - 1625 nm

Cladding Non-Circularity

$$\text{Cladding Non-Circularity} = \left[1 - \frac{\text{Min. Cladding Diameter}}{\text{Max. Cladding Diameter}} \right] \times 100$$

Corning Incorporated
www.corning.com/opticalfiber

One Riverfront Plaza
Corning, NY 14831

Ph. 800-525-2524 (U.S. and Canada)
807-248-2000 (International)

Email: cofo@corning.com

Corning, LMAP and CPC are registered trademarks of Corning Incorporated, Corning, NY.

Any warranty of any nature relating to any Corning optical fiber is only contained in the written agreement between Corning Incorporated and the direct purchaser of such fiber.

©2006, Corning Incorporated

ANEXOS 5 NEC SPECTRALWAVE

FEATURES

- ◆ UP TO 640 CHANNELS CAN BE TRANSPORTED ON A SINGLE OPTICAL FIBER CORE
- ◆ MAXIMUM TRANSPORT BANDWIDTH OF 3.2 TB/S
- ◆ OPEN ARCHITECTURE WITH TX/RX TRANSpondERS BIT/D0 MONITORING AND UNIVERSAL OPT SHELF
- ◆ DENSE PHYSICAL ARCHITECTURE FOR SMALL DEPLOYMENT FOOTPRINT
- ◆ REMOTELY PROVISIONABLE OPTICAL ADM WITH 50% OR 100% ADD/DROP CAPACITY
- ◆ 4:1 MULTIPLEXING TO INCREASE CHANNEL CAPACITY
- ◆ INVERSE MULTIPLEXING FOR OPERATION OVER HIGH-PMD FIBER
- ◆ FULLBAND TUNABLE TRANSpondERS
- ◆ FLEXIBLE SPAN CONFIGURATIONS
- ◆ FEC FOR 10 GB/S AND 40 GB/S
- ◆ INTEGRATED DISPERSION COMPENSATION
- ◆ RAMAN AMPLIFIER
- ◆ USER FRIENDLY MS WINDOWS-BASED CRAFT INTERFACE SOFTWARE
- ◆ OSI INTERFACE FOR ELEMENT AND NETWORK MANAGEMENT



SPECTRALWAVE 160

SPECTRALWAVE™ 160 is NEC's high-density DWDM system. The SpectralWave 160 system uses ITU-defined 50 GHz wavelength spacing in both the C-band and L-band to transport up to 160 2.5 Gb/s and/or 10 Gb/s wavelengths on a single fiber, thus providing OC-48/OC-192 data transport capacity of up to eighty (80) 40 Gb/s channels, for a maximum transport capacity of 3.2 terabits per second (Tb/s).

SpectralWave 160's advanced feature set includes NEC 4:1 multiplexer technology. The 4:1 feature multiplexes four OC-48 signals up to the OC-192 level for transmission on a single 10 Gb/s wavelength, thus giving the SpectralWave 160 system an industry-leading channel capacity of 640 channels. In addition, SpectralWave 160 supports inverse multiplexing of 10 Gb/s and 40 Gb/s channels for operation over spans with high-PMD fiber.

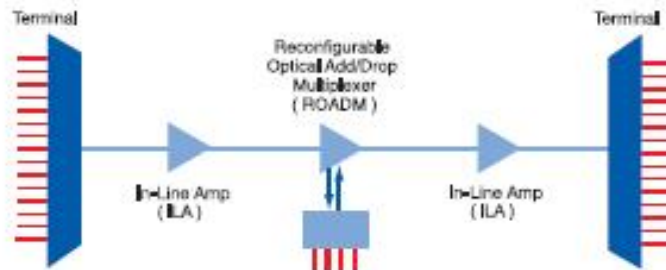
SpectralWave 160 provides carriers with a small footprint for DWDM deployments. The system uses a single Universal OPT shelf to support mixtures of 2.5 Gb/s, 10 Gb/s and 40 Gb/s channels. The shelf can support interface for up to 20 wavelengths. The Universal OPT shelf's density and flexibility provide carriers with a single-rack solution for most initial deployments. A fully configured terminal equipped with all wavelengths can be deployed in as few as four bays.

Other key SpectralWave 160 features include: integrated dispersion compensation, tunable transponders and a remotely provisionable OADM configuration that allows add/drop of up to 50% or 100% of the total wavelength capacity.

SpectralWave 160's open architecture and small footprint, combined with leading-edge DWDM and Optical Amplifier technologies, make SpectralWave 160 the ideal choice for building the high-capacity telecommunication networks of the future.

THE POWER OF SIMPLICITY

NEC



1.6 TBIT / S CAPACITY

Number of wavelengths:	160
Bit rate:	OC-48/STM-16, OC-192/STM-64, OC-768/STM-256, 10 GbE
Operating wavelengths:	C-band (around 1550nm), L-band (around 1580nm) Expandable up to 3.2Tbit/s (80 channels 40 Gb/s)

ROADM

Selectable wavelength type:	Add/drop of 50% or 100% of the total wavelength Remote control of add/drop
-----------------------------	---

EASY IN-SERVICE CAPACITY UPGRADE

Upgrade from 40 wavelengths to 80 wavelengths in the same wavelength band

Upgrade beyond 80 wavelengths using C-band and L-band

FLEXIBLE AND COST EFFECTIVE NETWORK DESIGN

Any combination of interfaces	
Universal optical shelf:	20 10 Gb/s interfaces per shelf; 20 2.5 Gb/s interfaces per shelf
Available system configurations:	Open (with transponders) Integrated (without transponders; direct to SpectralWave U-Node colored optics)
Flexible transponder types:	3R type (with B1 byte performance monitoring and J0 byte RS [Regenerator Section] trace)

COMPACT FOOTPRINT

2.5 Gb/s and/or 10 Gb/s:	60 wavelengths in a single bay; 80 wavelengths in 2 bays
--------------------------	--

NEC

NEC America, Inc.
Optical Network Systems Division
14040 Park Center Road
Herndon, VA 20171
(703) 834-4000
www.onsd.nec.com

ANEXOS 6 HUAWEI OPTIX BWS 1600A

OptiX BWS 1600A DWDM SYSTEM



HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.



OptiX BWS 1600A DWDM SYSTEM

Product overview

The OptiX BWS 1600A DWDM system is a one kind of large-capacity multi-service and multi-reach transmission DWDM equipment. It is mainly developed for the market of North America. Compliant With standard TL1 command interfaces, it has NEBS-compliant hardware architecture and is also compliant with the UL and the FCC. Thus it meets all of the requirements of the North American market. The OptiX BWS 1600A provides integrated solutions for long-haul backbone transmission networks, metropolitan backbone networks, and metropolitan aggregative networks. It is compatible with the SONET products of Huawei to provide overall solutions. It can also access standard-compliant services such as SONET, SDH, Ethernet, and SANs.



Product features:

Large capacity and modular design

The OptiX BWS 1600A multiplexes up to 160 wavelengths in a single fiber. The total unidirectional transmission capacity can reach 1600Gb/s. Employing the modular design, the OptiX BWS 1600A can easily be upgraded from 400G up to 1600G. The modular design is good for installment investment and construction in phases, and hence effectively reduces the initial investment.

Full-service, multi-rate, multi-protocol, and diversified service convergence modes

The OptiX BWS 1600A is accessible to SONET services at a rate of OC3/12/48/192, Fast Ethernet, Gigabit

Product specifications

Item	Description
Transmission specifications	5000 km transmission without electric relay 300 km transmission without optical relay
Key technologies	SuperCRZ, AFEC, Raman, and ROPA, ROADM
Wavelength range	The OptiX BWS 1600A uses 80 channels in C-band with a minimum of 50 GHz channel spacing. For convenience, the C-band is divided into C-ODD and C-EVEN as follows: C-EVEN: 192.10 THz–196.00 THz (1529.55nm–1560.61nm) C-ODD: 192.15 THz–196.05 THz (1529.16nm–1560.20nm)
Service types	Standard SDH service: STM-1/4/16/64/256 Standard SONET service: OC-3/12 /102/768 POS service: Packet Over SDH/SONET Ethernet service: FE, GE, and 10GE services 34 Mbps–2.7 Gbps ESCON/FC/FICON/FDDI/PDH OTN multiplexing and transparent transmission SAN
Supervisory channel	2 Mbps or 8 Mbps bit rate
Protection modes	Optical line protection Inter-Card 1+1 protection Intra-Card 1+1 protection Client-side 1+1 protection Intersubrack protection Wavelength crossconnection protection Optical wavelength shared protection 1:N optical channel protection Network management channel protection
Amplifier attributes	Three types of amplifier: EDFA, RAMAN, and ROPA AGC, ALC, and gain tilt compensation
Maintenance attributes	Support APE, ALC, AGC, OEL, Optical Spectrum Analyzer (OSA), and Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)
Subrack	575.0 mm (H) × 587.2 mm (W) × 392.0 mm (D)
Weight	30 kg (with the backplane but without units and fan tray assembly)
Voltage	–48 V DC
Power consumption	700 W
Environment	Long term working temperature: 5°C to 40°C Long term working humidity: 5%–85% Short term working temperature: –5°C to 50°C Short term working humidity: 5%–90% Storage temperature: –40°C to 70°C Altitude ≤ 4000 m

BIBLIOGRAFÍA

- [1] TOMASI, Wayne: *Sistemas de comunicaciones Electrónicas*, Cuarta Edición, Prentice Hall Pearson Educación, México 2003, Pag. 976.

- [2] FRENZEL, Louis E: *Electrónica aplicada a los sistemas de las comunicaciones*, Tercera Edición, Alfaomega, México, D.F. 2003, Pag 533.

- [3] Roberto Ares: Sección 4: Sistemas síncronos. Jerarquías PDH y SDH.
Disponible en: https://robertoares.com.ar/?page_id=184.

- [4] Roberto Ares: Sección 5: Características de fibras ópticas. Disponible en:
https://robertoares.com.ar/?page_id=184.

- [5] Wilmer Azurza Neyra, Especificación técnica mínima de fibra óptica para la construcción de la Red Dorsal Nacional: Análisis de las Recomendaciones UIT-T G65X, Unidad de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en:
<http://www.slideshare.net/wazurza/paper-especificacin-tnica-mnima-de-fibra-ptica-para-la-construccin-de-la-red-dorsal-nacional>

- [6] Introduction to DWDM Technology (2001), Corporate Headquarters, Cisco Systems, Inc. Disponible en:
https://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps2011/c2001/ccmigration_09186a00802342cf.pdf

- [7] Paper Fibras Ópticas, Fibras Ópticas, Disponible en:
[http://www.inforede.net/Technical/Layer_1/Cabling/Fiber_Optic_1_\(POR\).pdf](http://www.inforede.net/Technical/Layer_1/Cabling/Fiber_Optic_1_(POR).pdf)
- [8] D. Buelvas., I. Téllez., E. Mateus, (2009), REDES ÓPTICAS DWDM: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN, Disponible en:
https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4169349.pdf&ei=vYY_U_7gBtLh0wGb7IG4Cg&usg=AFQjCNF8-tWU9cGZpMUhRLdWrL__B1Wrw&sig2=QW_wBMd2bEP3sDndwS21ZA&bv m=bv.64125504,d.dmQ
- [9] D. Marcano., (2012), *Redes DWDM – Análisis y Diseño, Elementos de una Red DWDM, Capítulo 3, Pag 1-47*. Disponible en:
http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/Capitulo_3_Elementos_de_una_Red_DWDM.pdf
- [10] D. Marcano., (2012), *Redes DWDM – Análisis y Diseño, Definiciones y Estándares, Capítulo 4, Pag 1-54*. Disponible en:
http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/Capitulo_4_DWDM_Definiciones_y_Estandares.pdf
- [11] D. Marcano., (2012), *Redes DWDM – Análisis y Diseño, Capítulo 7, Pag 1-97*. Disponible en:
http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/Capitulo_7_Analisis_y_Disenio.pdf

[12] H. Bermúdez., W. Jiménez., (2008), Multiplexación por división de longitud de Onda - WDM Una nueva, Universidad de Quindío, Disponible en:
http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/eb75_n1806.pdf

[13] <http://www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/opteca/OPTO>
PDF7_archivos/UNIDAD7TEMA2.PDF